

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**  
**SEDE QUITO**

**CARRERA:**  
**INGENIERÍA MECÁNICA**

**Trabajo de Titulación previa a la obtención del título de:**  
**INGENIERA MECÁNICA E INGENIERO MECÁNICO**

**Tema:**  
**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN EQUIPO PARA FERMENTAR**  
**MOSTO DE CAPULÍ PARA EL GAD DE POALÓ CON CAPACIDAD DE**  
**150 LITROS**

**AUTORES:**  
**ALEJANDRA CONSUELO LUCERO AUCAPIÑA**  
**DARWIN DAVID CHILQUINGA CAZA**

**TUTOR:**  
**MILTON SALOMÓN JAMI LEMA**

**Quito, junio del 2019**

## **CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR**

Nosotros: Alejandra Consuelo Lucero Aucapiña con Cédula de Identidad N° 1724297401 y Darwin David Chiliquinga Caza con Cédula de Identidad N° 1721338422, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Trabajo de Titulación: “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN EQUIPO PARA FERMENTAR MOSTO DE CAPULÍ PARA EL GAD DE POALÓ CON CAPACIDAD DE 150 LITROS”, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de Ingeniera Mecánica e Ingeniero Mecánico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores, nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

-----  
Darwin David Chiliquinga Caza  
C.I.: 1721338422

-----  
Alejandra Consuelo Lucero Aucapiña  
C.I.: 1724297401

Quito, junio del 2019.

## **DECLARACIÓN DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR**

Yo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el Trabajo de Titulación: “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN EQUIPO PARA FERMENTAR MOSTO DE CAPULÍ PARA EL GAD DE POALÓ CON CAPACIDAD DE 150 LITROS” realizado por Alejandra Consuelo Lucero Aucapiña y Darwin David Chiliquinga Caza, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana, para ser considerados como trabajo final de titulación.



---

Milton Salomón Jami Lema

C.I.: 1707254171

Quito, junio del 2019.

## **DEDICATORIA**

Este Proyecto de Titulación se lo dedico con mucho cariño y felicidad a mi familia quienes la conformamos mis padres, hermanos y mi abuelita; personas quienes me apoyaron y lo seguirán haciendo de forma incondicional en todos los aspectos de mi vida; brindándome apoyo, consejos, motivación, ánimos, alegrías y sobre todo amor, por todo lo dicho me siento sumamente bendecido, agradecido y dichoso de poder hacerlos partícipes de mi éxito.

**Darwin David Chiliquina Caza**

Este Proyecto Técnico se lo dedico de manera muy especial a mi princesita Amelia que me ha enseñado a luchar y a ser fuerte ante cualquier dolor; y, sobre todas las cosas a ser feliz; a mi mamá por ser tan paciente, cariñosa y apoyarme para conseguir cada una de mis metas; a mi padre que tiene amor para todos nosotros; a mi hermana que siempre será mi mejor amiga y compañera por toda la vida, quien me ha regalado a mi pequeño ratón, Enrique.

**Alejandra Consuelo Lucero Aucapiña**

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco, en primer lugar, a Dios por todas las bendiciones derramadas, darnos la vida, salud, sabiduría y fortaleza para seguir el camino que el trazó para nosotros. A la Universidad Politécnica Salesiana, a su gran equipo de trabajo, tanto administrativo como docente, quiero darles un fraterno agradecimiento por realizar la gran labor de enseñanza; y, por su guía académica, al Ingeniero Milton Jami, MSc. por su instrucción y apoyo en la realización y culminación de este proyecto.

No me cansare de agradecer a mis padres porque gracias a ellos soy quien soy, hoy en día. A mi padre Patricio, por sembrar en mí, desde pequeño el sueño de llegar a ser un ingeniero y así brindarme una meta a la cual llegar; a mi madre María Elena por enseñarme la constancia para no rendirme pese a las dificultades que uno puede encontrarse en el camino; a mis hermanos por ser el motor que me impulsa, llegando a ser un ejemplo del cual ellos puedan seguir.

A mi compañera de vida, Alejandra, por ser un apoyo importante a la vez que fundamental para poder avanzar en el trayecto social, académico y profesional, convirtiéndose en una de las mejores elecciones que pude tomar.

**Darwin David Chiliquinga Caza**

En estas líneas deseo agradecer a Dios y a la Virgencita del Quinche por la protección que nos ha brindado. A mi mamá Mariana por enseñarme con el ejemplo las virtudes de una mujer luchadora y emprendedora que no se deja abatir por nada. A mi papí, Byron por todo el apoyo durante toda mi carrera. A mi hermana Elizabeth por lo que ha logrado en su vida y tranquila que después de la tormenta llega la calma. Gracias por mis dos pequeñitos sobrinos quienes son la razón de mi felicidad.

A todos mis catedráticos que me han hecho querer cada vez más esta carrera, en especial al Ing. Milton Jami quien nos guió con su experiencia y profesionalismo para

poder hacer realidad este proyecto. En general, a la Universidad Politécnica Salesiana por inculcar en mí un estilo de vida salesiano.

Finalmente, agradezco haberte conocido en este trayecto de mi vida. Fuiste, eres y serás un pilar fundamental. Gracias por todo el apoyo y por no permitirme dar por vencida... Gracias por todo, mi David.

**Alejandra Consuelo Lucero Aucapiña**

## Índice de contenidos

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR.....	i
DECLARACIÓN DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR.....	ii
DEDICATORIA .....	iii
AGRADECIMIENTOS .....	iv
Índice de contenidos .....	vi
Índice de Figuras.....	x
Índice de Tablas.....	xi
Glosario de términos .....	xii
Resumen.....	xiii
Abstract .....	xiv
Introducción.....	1
CAPÍTULO I.....	3
MARCO TEÓRICO.....	3
1.1.    Antecedentes .....	3
1.2.    Capulí.....	3
1.2.1.    Historia.....	3
1.2.2.    Madera .....	4
1.2.3.    Los frutos y sus propiedades .....	5
1.3.    Usos del capulí .....	6
1.3.1.    Alimenticios .....	6
1.3.2.    Medicinales .....	6
1.3.3.    Madereros.....	6
1.3.4.    Cosméticos .....	6
1.4.    Producción de capulí en el Cantón de San Jose de Poaló .....	6
1.5.    Fermentador de fruta.....	7
1.5.1.    Fermentación alcohólica .....	7
1.5.2.    Fermentación láctica .....	7
1.6.    Vinos .....	7
1.6.1.    Vinos de mesa .....	8
1.6.2.    Vinos espumosos .....	8
1.6.3.    Vinos fortificados .....	8
1.7.    Temperaturas recomendadas de fermentación de los vinos .....	8
1.8.    Transferencia de calor.....	9

1.9.	Métodos de transferencia de calor .....	9
1.9.1.	Conducción .....	9
1.9.2.	Convección.....	10
1.9.3.	Radiación .....	10
1.10.	Materiales .....	10
1.10.1.	Aceros inoxidables .....	10
1.10.2.	Aceros inoxidables austeníticos .....	10
1.10.3.	Acero inoxidable 304.....	11
1.10.4.	Acero inoxidable 316.....	11
1.11.	Métodos de unión.....	11
1.11.1.	Unión fija soldada.....	12
1.11.2.	Soldadura TIG .....	13
1.12.	Barolado de las planchas de acero AISI 316 .....	14
1.13.	Presiones internas.....	14
CAPÍTULO II.....		16
ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS .....		16
2.1.	Selección de alternativas del proceso de fermentación del mosto de capulí.....	16
2.1.1.	Ponderación de alternativas de marmita .....	16
2.1.2.	Diagrama de proceso (Flujo de proceso) .....	17
2.2.	Proceso de análisis del método.....	18
2.2.1.	Fermentación alcohólica .....	18
2.2.2.	Tanque fermentador a gas .....	18
2.3.	Aplicaciones .....	18
2.4.	Componentes principales del equipo .....	18
2.4.1.	Estructura metálica .....	18
2.4.2.	Tanque o recipiente.....	18
2.4.3.	Sistema hermético.....	19
2.5.	Accesorios del equipo .....	20
2.5.1.	Válvula de salida de GLP.....	20
2.5.2.	Nivel de agua tubular.....	20
2.5.3.	Válvula air-lock .....	21
CAPÍTULO III .....		22
CÁLCULOS, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL FERMETADOR DE MOSTO DE CAPULÍ .....		22
3.1.	Diseño y cálculo del fermentador .....	22



3.1.2.	Diseño del tanque fermentador interno según esbeltez .....	22
3.1.3.	Cálculo de altura y diámetro del tanque .....	23
3.2.	Altura compuesta de trabajo tanque fermentador interno .....	25
3.2.1.	Presión ejercida por el mosto de capulí en el tanque .....	26
3.2.2.	Presión de diseño teórica.....	26
3.2.3.	Presión de diseño interna .....	26
3.2.4.	Presión externa .....	26
3.2.5.	Presión en las paredes del tanque según la altura.....	27
3.3.	Diseño de los espesores del tanque.....	28
3.3.1.	Diseño del espesor para el tanque cilíndrico .....	28
3.3.2.	Diseño del espesor del tanque sección semi-toroidesférica .....	28
3.3.3.	Selección del espesor para el recipiente interior .....	28
3.4.	Carga de compresion en los soportes.....	28
3.5.	Datos generales del Acero inoxidable (AISI 316).....	30
3.6.	Cálculo de soldadura.....	31
3.6.1.	Preparación de bordes .....	31
3.6.2.	Esfuerzo normal en el cordón de soldadura a tope .....	31
3.6.3.	Elección de varilla de aporte en la soldadura TIG .....	32
3.7.	Análisis térmico .....	33
3.7.1.	Balance de energía .....	33
3.7.2.	Variación de energía interna del sistema .....	34
3.7.3.	Energía saliente o pérdidas de calor .....	34
3.7.4.	Parámetros termodinámicos de diseño .....	35
3.7.5.	Cálculos de masas.....	35
3.7.6.	Variación de energía del sistema .....	39
3.8.	Cálculo de temperatura óptima de la cámara de agua .....	43
3.9.	Barolado de las planchas de acero AISI 316.....	45
3.9.1.	Barolado del tanque interno .....	45
3.9.2.	Barolado del tanque externo.....	45
CAPÍTULO IV .....		46
ANÁLISIS DE COSTOS .....		46
4.1.	Materiales para la fabricación del prototipo.....	46
4.2.	Costos directos variables.....	46
4.2.1.	Costo de materiales directos.....	47
4.2.2.	Costo de materiales estandarizados .....	47

4.2.3.	Costo de máquinas y herramientas .....	48
4.2.4.	Costos directos totales .....	48
4.3.	Costos indirectos fijos.....	48
4.3.1.	Costos de materiales indirectos .....	48
4.3.2.	Varios.....	49
4.3.3.	Costos indirectos totales .....	49
4.4.	Costo total del equipo para fermentación.....	50
4.5.	Proyección de ingresos anuales .....	50
4.6.	Análisis de tasa mínima del rendimiento (TMAR) .....	51
4.7.	Análisis del valor actual neto (VAN) .....	51
4.8.	Análisis de tasa interna de retorno (TIR) .....	52
4.9.	Período de retorno de la inversión .....	54
CONCLUSIONES .....		56
RECOMENDACIONES .....		57
Referencias .....		58
Anexos		

## Índice de Figuras

Fig 1. Árbol de capulí. ....	4
Fig 2. Racimos de flores de capulí. ....	5
Fig 3. Frutos de capulí. ....	5
Fig 4. Diagrama esquemático del proceso de soldadura[25]. ....	13
Fig 5. Soldadura TIG.[26] ....	13
Fig 6. Barolado con tres cilindros. ....	14
Fig 7. Máquina de barolado [27]. ....	14
Fig 8. Presión de un fluido sobre las paredes de un recipiente [28]. ....	15
Fig 9. Diagrama de proceso de fermentación de mosto de capulí. ....	17
Fig 10. Tanque fermentador. ....	19
Fig 11. Sistema hermético. ....	20
Fig 12. Válvula de salida de gas [32]. ....	20
Fig 13. Medidor de nivel tubular [33]. ....	21
Fig 14. Válvula air-lock [34]. ....	21
Fig 15. Dimensiones del tanque fermentador. ....	23
Fig 16. Preparación de bordes para unir con soldadura[40]. ....	31

## Índice de Tablas

Tabla 1. Ponderación de alternativas .....	16
Tabla 2. Especificaciones de diseño .....	22
Tabla 3. Esfuerzo admisible de compresión.....	29
Tabla 4. Características de la varilla de porte 316L INDURA.....	32
Tabla 5. Características del electrodo AWS ER316L [40]. .....	33
Tabla 6. Parámetros termodinámicos de diseño .....	35
Tabla 7. Propiedades de alimentos comunes [20]. .....	36
Tabla 8. Detalle de costos de materiales directos .....	47
Tabla 9. Detalle de costos de materiales estandarizados. ....	47
Tabla 10. Detalle de costos de maquinado .....	48
Tabla 11. Costos directos totales. ....	48
Tabla 12. Detalle de materiales indirectos .....	48
Tabla 13. detalle de gastos adicionales .....	49
Tabla 14. Detalle de costos indirectos totales .....	49
Tabla 15. Costo total del equipo para fermentar mosto de capulí. ....	50
Tabla 16. Proyección de ingresos rentables del equipo de fermentación. ....	50
Tabla 17. Criterios del Valor Actual Neto (VAN) [44]. ....	51
Tabla 18. Flujo de caja del primer año .....	53
Tabla 19. Análisis de costos. ....	54

### **Glosario de términos**

- **Acero Inoxidable:** Es un acero con un contenido de cromo que no supera el 10.5 % además de carbono mayor 1.2 %, que generan capa protectora superficial auto-regenerable que evita la corrosión de las superficies [1].
- **Capulí:** Árbol nativo de la sierra ecuatoriana que brinda sus frutos en los primeros meses del año, no necesita de muchos cuidados y su período de vida es de alrededor de 80 años, el árbol de capulí puede llegar a medir hasta unos 12 metros de altura [2].
- **Fermentación:** El proceso de fermentación alcohólica produce etanol y CO<sub>2</sub> debido a la respiración de las levaduras que oxidan la glucosa produciendo la síntesis del trifosfato de adenosina (ATP), cuando los microorganismos no necesitan oxígeno en su metabolismo, fermentan los azúcares tales como la glucosa y la lactosa[3].
- **Mosto:** Zumo de una fruta que contiene beneficiosas propiedades que no contiene alcohol y puede ser bebida por niños y adultos, puede ser utilizado para crear vinos al ser fermentados [4].
- **Vino:** Bebida que es producida por la fermentación etanólica de uvas y otras frutas, contiene un porcentaje de azúcar del 12-25 %, además de un grado de alcohol que no debe ser menor al 8.5 % en su volumen [4].

## Resumen

En los primeros meses del año en la zona baja del Cantón de San José de Poaló es muy común observar los árboles frondosos cargados de capulí, motivo por el cual familias, amigos y vecinos salen en busca de esta fruta, trepan los árboles que se encuentran al filo de las vías; generalmente los dueños de estos árboles no impiden estos actos solo piden a las personas no quebrar las ramas [5].

Los frutos frescos se los pueden comer crudos, de igual manera pueden ser cocinados, convertidos en salsa, mermelada, jalea o vino. La preparación más famosa es el *jucho* (colada de dulce con capulí, panela y arroz de cebada, en la cual se puede adicionar peras, claudias, entre otros frutos de la temporada), que se consume en febrero y marzo. También se consume el capulí con chocho, máchica, en colada [6].

La temperatura de fermentación de un vino influye en las características y sabor de este. Si la temperatura es elevada, su aroma, el etanol, y el SO<sub>2</sub> disminuye, produciendo un vino más basto. Si la temperatura es baja se conserva el aroma primario, y se disminuye la cantidad de glicerina, produciendo vinos fuertes y ácidos. Los vinos blancos son generalmente fermentados de 15-18 °C por un tiempo de 7-14 días o más, por otro lado los vinos rojos tienen otra temperatura de fermentación que puede variar entre los 20-30 °C durante un tiempo estimado de 7 días [7].

Para el diseño del equipo se propone fermentar una cantidad de 150 litros de mosto de capulí para el Gobierno Autónomo Descentralizado de San José de Poaló y posteriormente generar vino. El mosto está a temperatura ambiente, la cual varía entre los 9 a 18 °C, después el mosto debe permanecer a una temperatura entre los 20 a 30 °C durante aproximadamente una semana para completar el proceso; la altura en Poaló es de 2.750 metros sobre el nivel del mar y la presión de trabajo es de 14.92 psi.

Finalmente, se demostrará con los resultados obtenidos, con fundamento científico todo el proceso de fermentación y la producción de vino de capulí.

**Palabras clave:** mosto, fermentación, transferencia de calor, capulí, levadura

## Abstract

In the first months of the year in the lower area of the Canton of San José de Poaló it is very common to see the leafy trees laden with capulí, reason why families, friends, neighbors go out in search of this fruit, climb the trees that are at the edge of the tracks, usually the owners of these fruits do not prevent these acts only ask to people only ask them not to break the branches [1].

The fresh fruits can have eaten them, although they can also be cooked, turned into sauce, jam, jelly or wine. The most famous preparation is the *Jucho* (sweet drink with capulí, panela and barley rice, in which you can add pears, claudias, among other fruits of the season), which is consumed in February and March. It was also consumed the capulí with chocho, machica, in wash [2].

A wine fermentation temperature influences the characteristics and flavor of these. If the temperature is high ethanol, its aroma and SO<sub>2</sub> decreases, producing a coarser wine. If the temperature is low the primary aroma is conserved, and the amount of glycerin is reduced, producing strong and acid decreases. White wines are usually fermented at 15-18 ° C for a period of 7-14 days or longer, whereas red wines have another fermentation temperature that can vary between 20-30 ° C for an estimated time of 7 days [3].

For the design of the equipment it is proposed to ferment a quantity of 150 L of capulí must for the Autonomous Decentralized Government of San José de Poaló and later to generate capulí wine, the must temperature is at room temperature that varies between 9 ° C to 18 ° C, subsequently the must remain at a temperature between 20 ° C to 30 ° C for about a week to complete the process; the height in Poaló is 2750 meters above sea level and the working pressure is 14.92 psi.

Finally, the entire fermentation process and the production of capulí wine will be demonstrated with the results obtained with a scientific basis.

**Keywords:** must, fermentation, heat transfer, capulí, yeast

## **Introducción**

El proceso de fermentación alcohólica produce etanol y CO<sub>2</sub> debido a la respiración de las levaduras que oxidan la glucosa, cuando los microorganismos no necesitan oxígeno en su metabolismo, fermentan los azúcares tales como la glucosa y la lactosa. La comunidad de San José de Poaló cuenta con árboles nativos de capulí que florecen y brindan sus frutos en el primer trimestre del año, por tal motivo se ha visto necesario llevar a cabo el proyecto, el cual consiste en el diseño y construcción de un equipo para fermentar mosto de capulí con capacidad de 150 litros.

Mediante la correcta transferencia de calor se garantiza acortar el tiempo de fermentación ya que hacerlo de la manera tradicional demora varios meses, y con la aportación de calor se logra obtener vino en un par de semanas. La temperatura adecuada para este proceso debe permanecer en un rango de 20 a 30 °C, manteniendo de esta manera estable a los microorganismos.

Tomando como referencia la Norma ASME VIII, se fabricó el tanque fermentador en su totalidad de acero inoxidable AISI 316, el cual consta de dos tanques, uno interno de forma cilíndrico vertical con base semi-esférica, el mismo que contendrá la mezcla de mosto, agua, azúcar y levaduras. El tanque externo forma una cámara de agua alrededor del tanque interno para obtener una transferencia de calor óptima. El aporte de calor será generado por un quemador de GLP.

Para la recuperación de la inversión generada por la construcción del equipo de fermentación se deben generar ganancias mínimas del 18 % anual, con una depreciación de 10 años de uso del equipo.

Al momento la Parroquia de Poaló no cuenta con un fermentador de mosto de frutas, el cual se lo puede utilizar para el incremento del desarrollo de la comunidad y su economía.

El capulí es un árbol nativo muy productivo, no necesita de muchos cuidados y su período de vida es alrededor de 80 años, puede llegar a medir hasta unos 12 metros de altura. Sus frutos son ricos en vitaminas que son esenciales para mantener una buena salud, el precio de una canasta de este fruto varía entre 1 y 2 dólares. Para la cosecha



de este se debe caminar, y desde lejos se puede observar los gigantes árboles cubiertos con este delicioso fruto, en la cosecha se utilizan escaleras y la habilidad de las personas que trepan en sus ramas [2].

Las ganancias de la venta de capulí no representan el esfuerzo que se necesita para obtener los frutos. Al realizar un proceso a la fruta de capulí aumentaría la economía de las personas que se dedican a esta labor.

El diseño y la construcción de un equipo de fermentación por medio de la vinculación que existe entre la universidad y la comunidad es considerablemente menor, comparándolo al elevado costo de la importación de maquinaria.

El objetivo general es diseñar y construir un equipo para fermentar mosto de capulí para el GAD de Poaló con capacidad de 150 litros.

Los objetivos específicos son:

- Estudiar la situación actual de la producción de capulí para vino artesanal en la parroquia de San José de Poaló.
- Seleccionar y evaluar la alternativa más viable para el diseño y construcción de la máquina fermentadora.
- Diseñar el equipo de fermentación de frutas que cumpla con la capacidad de 150 litros.
- Validar el funcionamiento del equipo de fermentación mediante pruebas.
- Evaluar la rentabilidad del equipo de fermentación, para garantizar el aumento de la economía en la Parroquia de Poaló

# **CAPÍTULO I**

## **MARCO TEÓRICO**

### **1.1. Antecedentes**

La Parroquia de San José de Poaló de la Provincia de Cotopaxi cuenta con una vegetación nativa donde el capulí es un árbol, el cual no necesita de mayores cuidados, brinda sus frutos en los 3 primeros meses del año y su período de vida es alrededor de 80 años; el árbol de capulí puede llegar a medir hasta 12 metros de altura, sus frutos son ricos en vitaminas, calcio y minerales que son esenciales para la salud. Para la cosecha de este se debe caminar, y desde lejos se puede observar los gigantes árboles cubiertos con este delicioso fruto, en la cosecha se utilizan escaleras y la habilidad de las personas que trepan en sus ramas [2].

Pero no existe una verdadera rentabilidad al venderlo en mercados, debido a que el precio de una canasta de este fruto varía entre 1 y 2 dólares, el ingreso de la venta del capulí no representa el esfuerzo que se necesita para obtener los frutos, por lo que el Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial rural de San José de Poaló ve la oportunidad de generar ingresos con este recurso natural produciendo 800 botellas de vino de capulí anualmente.

El diseño y la construcción de un equipo de fermentación por medio de la vinculación que existe entre la Universidad y la comunidad es considerablemente menor, comparándolo al elevado costo de la importación de maquinaria.

### **1.2. Capulí**

#### **1.2.1. Historia**

Su origen podría ser mesoamericano, que habría llegado a la ciudad de Lima con la conquista española, y de ahí a Ecuador. En investigaciones arqueológicas preincaicas se encontraron restos del fruto, así como de la madera, en Imbabura y Chimborazo, existen representaciones en cerámica prehispánica del árbol, hojas y sus racimos con frutos. Su nombre científico es *Prunus serótina*.

A través del tiempo en la ciudad de Ambato, los frutos de capulí adquirieron la fama de ser los mejores del país, por su gran tamaño y sabor. El capulí es un árbol muy característico de la Sierra, así como la palma de coco en la costa [2].



Fig 1. Árbol de capulí.  
Elaborado por: Alejandra Lucero & David Chilibingua

El árbol de capulí ilustrado en la Figura 1, es firme al viento, resistente al fuego y al daño por termitas; además es tolerante a la contaminación ambiental. Resiste las heladas, tolera suelos ácidos, suelos rocosos, suelos húmedos. Por otro lado, para su desarrollo necesita de bastante iluminación, es sensible o susceptible al daño por hongos, ya sea en el fruto u hojas, las cuales también pueden ser dañadas debido a insectos, orugas, gusanos y polillas [8].

### **1.2.2. Madera**

Baños [8], menciona que en su mayoría el árbol de capulí se compone de madera, en su tronco y las ramas, la madera se caracteriza por las sustancias fibrosas y celulosas. Está compuesta por celulosa, resina, lignina, entre otros. Es de fácil transformación y al utilizar la pulpa de la madera y ser tratada químicamente, se obtiene materia prima para la fabricación de plásticos, papel, trementina.

### 1.2.3. Los frutos y sus propiedades

En los primeros días del año aparecen las flores en racimos (Fig. 2), en cada uno de ellos pueden caber entre 15 a 20 frutos (Fig. 3), su diámetro puede llegar hasta los 2 cm de diámetro, son de color marrón cuando ya están maduros. [9]



Fig 2. Racimos de flores de capulí.  
Elaborado por: Alejandra Lucero & David Chilibingua



Fig 3. Frutos de capulí.  
Elaborado por: Alejandra Lucero & David Chilibingua

### **1.3. Usos del capulí**

#### **1.3.1. Alimenticios**

Carrera [6], menciona que los frutos frescos se los pueden comer crudos, de igual manera pueden ser cocinados, convertidos en salsa, mermelada, jalea o vino. La preparación más famosa es el *jucho* (colada de dulce con capulí, panela y arroz de cebada, en la cual se puede adicionar peras, claudias, entre otros frutos de la temporada), que se consume en febrero y marzo. También se consume el capulí con chocho, máchica, en colada o con sopa de arroz de cebada.

#### **1.3.2. Medicinales**

Moncayo menciona que la infusión de las flores de capulí, en conjunto con otras plantas pueden ser utilizadas para apresurar los dolores del parto, el extracto de las hojas se utiliza para una infusión diurética y expectorante, que alivia las inflamaciones respiratorias, además de calmar los cólicos, heridas, golpes, reumatismo y el rasca bonito [10][8]. El procesamiento de las hojas hecho en chicha de jora es anti periódico, es decir combate los accesos de fiebre con que se presenta el paludismo o malaria [8]. Del polvo de la corteza se puede obtener ungüentos, tónicos y sedantes [11]. Las propiedades medicinales se relacionan a las antocianinas y polifenoles que son parte de la composición del árbol y que tienen características antioxidantes y antimicrobianas [12].

#### **1.3.3. Madereros**

La madera de capulí puede ser utilizada para crear muebles, decoraciones e incluso para la elaboración de herramientas, debido a su alta calidad. En diferentes comunidades también la utilizan en fogatas o cocinas de leña [13].

#### **1.3.4. Cosméticos**

La semilla contiene aproximadamente del 30 a 40 % de aceite semi-secante el cual puede ser empleado en la elaboración pinturas y jabones [8].

### **1.4. Producción de capulí en el cantón de San Jose de Poaló**

En los primeros meses del año en la zona baja del Cantón de San José de Poaló es muy común observar los árboles frondosos cargados de capulí, motivo por el cual familias, amigos y vecinos salen en busca de esta fruta, trepan a los árboles que se encuentran

al filo de las vías, generalmente los dueños de estas frutas no impiden estos actos solo piden a las personas que no quebrar las ramas [5].

## **1.5. Fermentador de fruta**

### **1.5.1. Fermentación alcohólica**

El proceso de fermentación alcohólica produce etanol y  $\text{CO}_2$  debido a la respiración de las levaduras que oxidan la glucosa produciendo la síntesis del trifosfato de adenosina (ATP), cuando los microorganismos no necesitan oxígeno en su metabolismo, fermentan los azúcares tales como la glucosa y la lactosa. La obtención del etanol tiene varios procesos que lo anteceden como la transformación de la glucosa en ácido pirúvico, este en acetaldehído y finalmente con la enzima alcohol-deshidrogenasa en etanol [14].

### **1.5.2. Fermentación láctica**

Puerta [3], menciona que la fermentación láctica es aquella en la que las bacterias lactobacilacea y enterobacteriácea, a partir de azúcares producen ácido láctico. El sabor y la acidez de los productos como vegetales, lácteos, carnes y cereales dependen del ácido láctico, además, evita la proliferación de otras bacterias que causan la descomposición de los alimentos. Las bacterias homofermentativas descomponen la glucosa en ácido láctico en un 90 %, fermentación en la cual no se obtiene una gran cantidad de alcohol. En general con este proceso se pueden obtener varios derivados de la leche como: queso, yogurt y mantequilla.

## **1.6. Vinos**

El vino es producido por la respiración de las levaduras que oxidan la glucosa de las uvas y otras frutas, tiene un origen en la antigüedad. Contiene un porcentaje de azúcar del 12 al 25 %. Además de una graduación alcohólica que no debe ser menor al 8.5 % en su volumen [15][7].

Existen tres tipos de vinos, estos son los vinos de mesa, vinos espumosos y vinos fortificados [16].

### **1.6.1. Vinos de mesa**

Entre los vinos de mesa se encuentran los vinos tintos, blancos y rosados. Cada uno de ellos tiene características diferentes. Los vinos blancos fabricados, principalmente, de la uva verde pueden ser secos, semisecos o dulces, concentrados, ligeros o amplios, además jóvenes o de guarda. Los vinos tintos obtenidos por la fermentación de uvas rojas pueden ser secos o afrutados; ligeros, de tanino medio o muy tánicos; jóvenes o de guarda. Los vinos rosados provienen de cepas tintas. Tienen un proceso de producción diferente para mantener los sabores primarios de sus frutas, pero sobre todo una frescura muy parecida a los blancos, se caracterizan principalmente por ser jóvenes [17][16].

### **1.6.2. Vinos espumosos**

Los vinos espumosos se caracterizan por tener una cantidad mayor de espuma, utilizados especialmente para celebraciones, se clasifican según el método de obtención de espuma. Método Chermat utiliza una segunda fermentación dentro de un tanque, se obtienen vinos con burbujas grandes que se disuelven instantáneamente, además son ligeros y afrutados. Método tradicional o Champenoise su segunda fermentación se produce dentro de la botella, los vinos resultantes se caracterizan por tener burbujas finas y de larga permanencia. Método inyección directa de CO<sub>2</sub> para este método se le adiciona artificialmente gas carbónico. Su efervescencia es efímera y no se lo considera de calidad [16].

### **1.6.3. Vinos fortificados**

Estos vinos son fortificados debido a que para ser producidos se les añade alcohol, se pueden llamar también generosos o encabezados [16].

## **1.7. Temperaturas recomendadas de fermentación de los vinos**

La temperatura de fermentación de un vino influye en las características y sabor de este. Si la temperatura es elevada, su aroma, el etanol y el SO<sub>2</sub> disminuye, produciendo un vino más basto. Si la temperatura es baja se conserva el aroma primario, y se disminuye la cantidad de glicerina, produciendo vinos fuertes y ácidos [7].

Los vinos blancos son generalmente fermentados de 15-18 °C por un tiempo de 7-14 días o más, por otro lado los vinos rojos tiene otra temperatura de fermentación que puede variar entre los 20-30 °C durante un tiempo estimado de 7 días.

La cantidad de alcohol en un vino de alta calidad va desde 12-16 % y algunas pueden llegar a 18 %. El instante en el que la glucosa y la fructosa son completamente degradadas se puede afirmar que la fermentación alcohólica está completa.

Para disminuir la acidez se recomienda realizar una segunda fermentación, de esta manera asegurando un sabor más suave y con mayor estabilidad microbiológica. El principal objetivo de añejar un vino es mejorar su aroma, además de aumentar su sabor [15].

## **1.8. Transferencia de calor**

Donald et al [18], establece que la diferencia de temperaturas existente en el perímetro límite de un sistema, da como resultado un mecanismo mediante el cual se produce la transferencia de calor. Cuando existe un diferencial de temperaturas, se produce la transmisión de energía del cuerpo o sustancia de mayor temperatura a la de menor temperatura. Existen tres tipos de mecanismos para que se pueda generar la transferencia de calor: conducción, radiación y convección. Cada uno de ellos regido por un mecanismo físico diferente.

## **1.9. Métodos de transferencia de calor**

### **1.9.1. Conducción**

El flujo de calor en este método de transferencia se produce a nivel atómico, por la denominada actividad molecular presente en la materia; la cual consiste en la colisión de las moléculas entre sí, donde las partículas con mayor energía cedan parte de esta a las menos energéticas; produciéndose un flujo de calor, afirmaciones establecidas por Ramos [19]. Los metales por su composición química se convierten en excelentes conductores del calor. Los materiales que no aportan a la conducción de calor o presentan oposición a su transferencia son llamados aislantes; este es el caso del aire o plásticos.



### **1.9.2. Convección**

Este modo de transferencia de calor se produce entre una superficie sólida y un gas o líquido contiguo que debe estar en movimiento, abarca los efectos combinados de la conducción y el dinamismo de fluidos. La eficiencia del proceso de conducción depende del estado de excitación de las moléculas del fluido, pero esto dificulta el cálculo de la razón de transferencia. La transferencia de calor por convección puede convertirse en conducción pura, cuando existe ausencia de cualquier movimiento del fluido. [20].

### **1.9.3. Radiación**

La transferencia de calor por radiación se produce por los fotones (ondas electromagnéticas), los cuales son emitidos por la materia; todo esto como desenlace de los cambios en las configuraciones electrónicas de los átomos o moléculas. Este proceso no necesita de un medio interventor, en comparación a la conducción y la convección. Equiparando la radiación con la conducción y convección, en esta se puede distinguir una transferencia de calor mucho más acelerada, pudiendo llegar a igualar la celeridad de la luz; sin sufrir empobrecimiento de intensidad cuando recorre un espacio vacío. Esto representa la forma como la energía proveniente del sol llega al planeta [20].

## **1.10. Materiales**

### **1.10.1. Aceros inoxidables**

La aleación de hierro, carbono y un mínimo de 11 % de cromo generan aceros inoxidables. En el mercado actual se dispone de aceros aleados con cromo y níquel con una proporción del 11 % y 0.8 %, respectivamente. Algunos aceros según su uso pueden contener níquel como segundo elemento. Para que un acero obtenga la denominación y pueda ser resistente al calor su aleación debe exceder del 50 % del total [21].

### **1.10.2. Aceros inoxidables austeníticos**

Estos aceros son aleaciones con altos contenidos de cromo y níquel además en estructuras soldadas se puede utilizar aceros con contenido de molibdeno, cobre, silicio, aluminio, titanio y niobio para obtener propiedades específicas, y así evitar la corrosión en las zonas afectadas por el calor del arco. Para aumentar la resistencia a la

corrosión en ambientes altamente ácidos, se agrega níquel a la aleación, este elemento químico actuará como un fuerte agente estabilizador de la fase metalúrgica austenita y producirá un reforzamiento a la capa pasivante del acero [22].

#### **1.10.3. Acero inoxidable 304**

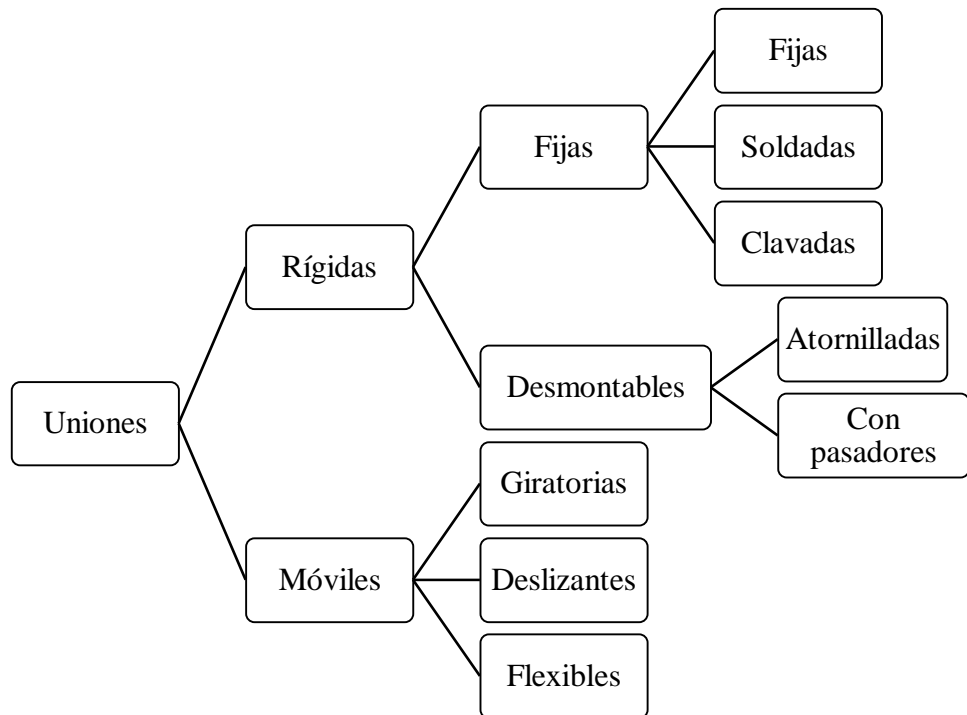
Este acero inoxidable se caracteriza por tener elementos que constituyen un compuesto oxidado en el contorno de la aleación, formados por cromo del 18 al 20 % y níquel del 8 al 12 %, dando lugar a la llamada capa pasiva, la cual salvaguarda al material y su estabilidad, dando como resultado un factor influyente para la resistencia a la corrosión [23].

#### **1.10.4. Acero inoxidable 316**

Es un acero inoxidable de cromo níquel que contiene molibdeno de tipo austenítico. Esta adición incrementa la resistencia a la corrosión global, enaltece la resistencia a la corrosión frente a diversos químicos agresivos, ácidos y atmósferas salinas, y proporciona superior resistencia a altas temperaturas. En temperaturas altas presenta mayor estabilidad a comparación del acero 304, pero tienen propiedades semejantes [23].

### **1.11. Métodos de unión**

Existen diferentes métodos de unión los cuales se van a enumerar en el siguiente esquema:



Elaborado por: Alejandra Lucero & David Chilibingua

#### 1.11.1. Unión fija soldada

Flores [24], explica en su estudio sobre soldadura, la cual fue el primer método empleado con beneficiosos resultados, como económicos, debido a que este método fue el pilar fundamental para los procesos de manufactura con mayor eficacia, las innovadoras aplicaciones que existen en la actualidad toman como punto de partida la soldadura de arco con electrodo auto-protegido.

El proceso de soldadura se caracteriza por efectuar la unión de dos componentes metálicos de idéntica o parecida composición química mediante la adición de calor de forma directa o con la aportación de otro metal con igual composición. Para evitar que los gases nocivos como el oxígeno y el nitrógeno, presentes en la atmósfera, infrinjan daño en el proceso de soldadura, se debe proteger el aporte de material fundido, tal como se puede observar en la Figura 4; con un gas de protección proveniente del revestimiento del electrodo [25].



Fig. 4. Diagrama esquemático del proceso de soldadura[25]

### 1.11.2. Soldadura TIG

La utilización de este sistema TIG es preferentemente para el acero inoxidable, cobre y sus aleaciones, y sobre todo para las aleaciones ligeras de aluminio y magnesio, para las cuales ha resultado ser el sistema de soldadura más eficaz y en ciertos casos el único posible.

Con este sistema el arco se produce entre la pieza a soldar y un electrodo de tungsteno presente en una pistola, de la cual también emana un gas proveniente de un tanque, con la finalidad de servir de protección; todo el proceso debe ser refrigerado por una circulación de agua y argón. Debido a que el electrodo es infusible, para producir la fundición y la unión de las partes se introduce en el baño de fusión una varilla de aporte, la cual debe ser de igual o similar composición química, con la misma técnica que en la soldadura oxiacetilénica. La mordaza de masa y el electrodo están unidos por unos cables eléctricos a un generador de corriente, que puede ser continua y alterna [26].



Fig 5. Soldadura TIG.[26]

### 1.12. Barolado de las planchas de acero AISI 316

El proceso de barolado consiste en someter a una lámina metálica a la acción continua de una serie de rodillos para proporcionarle una forma circular específica, en la Figura 6 se puede observar dicho procedimiento. Este puede realizarse con el empleo de máquinas automáticas o manuales, las cuales constan de 3 o 4 rodillos para curvar la lámina [27].

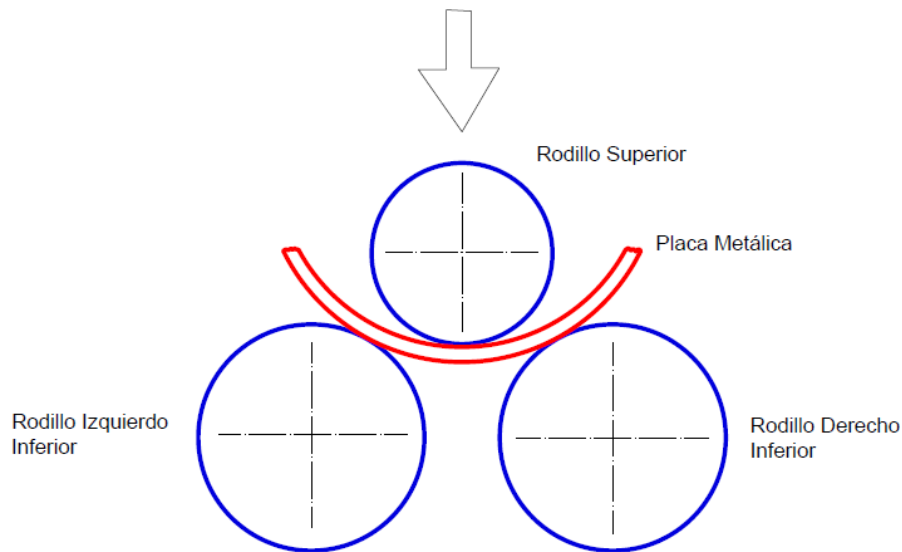


Fig 6. Barolado con tres cilindros.  
Elaborado por: Alejandra Lucero & David Chilingua



Fig 7. Máquina de barolado [27].

### 1.13. Presiones internas

Al exponer una plancha, una válvula de compuerta en una presa o la pared de un recipiente a un fluido que ejerce fuerzas distribuidas sobre la superficie se conocen

como presión interna. La fuerza de esta presión actúa de forma perpendicular sobre todo el recipiente como se puede observar en la Figura 8, produciéndose, inicialmente, en el interior del líquido y dirigiéndose hacia el exterior [28].

Cengel et al [29], establece que existe un centro de presión, que es la ubicación del punto de aplicación de un sistema de fuerzas paralelas, resultantes de la acción de las fuerzas hidrostáticas actuantes sobre una superficie plana. Mientras que para una superficie curva sumergida se torna un poco más complicado; debiéndose aplicar el método más sencillo que consiste en calcular, primeramente, las componentes horizontal y vertical,  $F_H$  y  $F_V$ , por separado para así poder obtener la fuerza hidrostática resultante que influye sobre una superficie curva bidimensional.

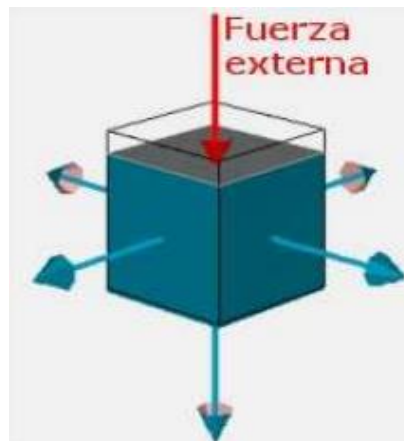


Fig. 8. Presión de un fluido sobre las paredes de un recipiente [28]

## CAPÍTULO II

### ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

#### 2.1. Selección de alternativas del proceso de fermentación del mosto de capulí

##### 2.1.1. Ponderación de alternativas de marmita

El fermentador de mosto de capulí se ubicará en la ciudad de Poaló, la cual mantiene una temperatura ambiente entre los 8 a 14 °C, por ello se necesita una fuente de calor para que el mosto se mantenga a una temperatura constante durante todo el proceso, existen tres opciones para este procedimiento, las cuales serán ponderadas y de esta manera determinar la más factible.

Tabla 1. Ponderación de alternativas

Ponderación de alternativas			
Descripción	Fuente de calor		
	GLP	Vapor	Electricidad
Funcionalidad	9	7	7
Material de la marmita	8	8	8
Costo	9	9	8
Instalación en el sitio	10	7	8
Fuente de alimentación	10	7	8
Durabilidad	9	9	9
<b>PONDERADO</b>	<b>9.16</b>	<b>7.83</b>	<b>8</b>

Elaborado por: Alejandra Lucero & David Chilibingua

Analizando la Tabla 1, se determina que la fuente de calor será generada por gas licuado de petróleo, por lo que el fermentador será diseñado con un quemador industrial que se puede separar del conjunto para la limpieza del tanque fermentador.

### 2.1.2. Diagrama de proceso (Flujo de proceso)

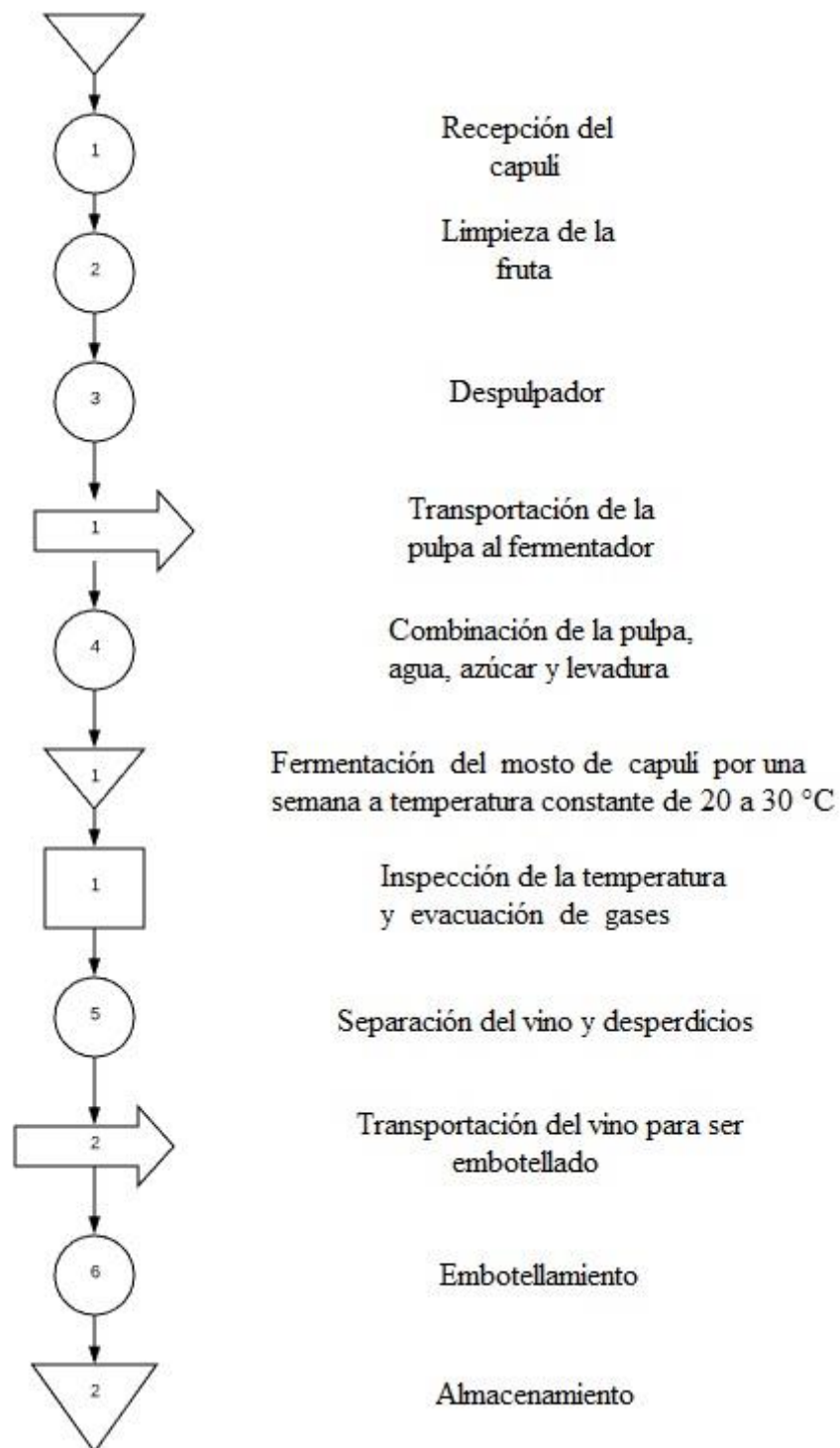


Fig. 9. Diagrama de proceso de fermentación de mosto de capulí.  
Elaborado por: Alejandra Lucero & David Chiliquina



## **2.2. Proceso de análisis del método**

### **2.2.1. Fermentación alcohólica**

Debido a la gran producción de capulí en la zona, se decidió crear un fermentador alcohólico para la creación de vino de capulí, en la cual el mosto permanecerá a una temperatura constante entre los 20 °C a 30 °C durante una semana con una fuente de calor producida por GLP, en esta fermentación se producirá etanol y CO<sub>2</sub> debido a la fermentación de la glucosa, por lo cual el fermentador debe tener un escape de CO<sub>2</sub>.

### **2.2.2. Tanque fermentador a gas**

Después de un análisis exhaustivo se decidió diseñar el fermentador con un quemador industrial para el aporte de calor indirecto, debido a que el tanque fermentador tiene una camisa de agua la cual se mantendrá a una temperatura entre los 60 y 70 °C, este será construido en su totalidad con Acero A316.

El tanque está compuesto por accesorios, válvulas de paso, termómetro, nivel de agua tubular, válvula de salida de gas CO<sub>2</sub>.

## **2.3. Aplicaciones**

El tanque fermentador no solo es útil para el proceso de fermentación de mosto de capulí, sino para la fermentación de varias frutas, se puede producir cerveza artesanal, dar tratamiento a bebidas, además de la producción de otros derivados como mermeladas o aderezos [30].

## **2.4. Componentes principales del equipo**

### **2.4.1. Estructura metálica**

La estructura metálica está conformada por distintos elementos resistentes, idóneos para evitar deformaciones, con el incremento de los esfuerzos y cargas exteriores a los que se encuentre sometido durante su uso.

### **2.4.2. Tanque o recipiente**

Depósito de acero inoxidable AISI 316, el cual es una aleación de cromo níquel austenítico que contiene molibdeno, diseñado para acumular o procesar fluidos que

pueden ser altamente corrosivos, que mantienen una presión atmosférica constante y presiones internas variables [31].

Los tanques de almacenamiento se utilizan como contenedores para albergar una reserva necesaria de cualquier tipo de producto, mayormente líquidos, para su posterior uso. Dichos tanques se clasifican en:

Cilíndricos horizontales y cilíndricos verticales de fondo plano.

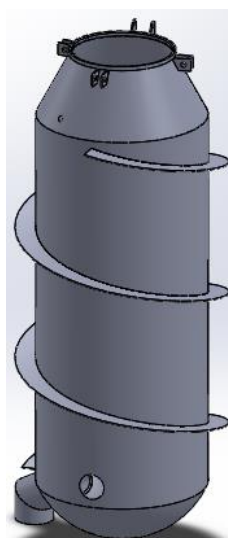


Fig 10. Tanque fermentador.  
Elaborado por: Alejandra Lucero & David Chilibingua

#### **2.4.3. Sistema hermético**

Se refiere al depósito o modo de cierre que no deja atravesar ningún fluido, para lo cual se utiliza una tapa con ceja, que es diseñado generalmente para presiones atmosféricas, como el indicado en la Figura 11, con un costo relativamente bajo.

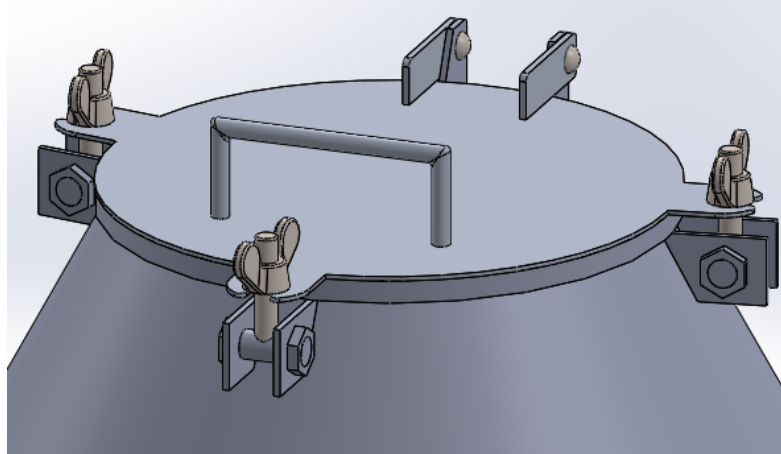


Fig 11. Sistema hermético.  
Elaborado por: Alejandra Lucero & David Chilibingua

## 2.5. Accesorios del equipo

### 2.5.1. Válvula de salida de GLP

La válvula de control de gas está compuesta por una llave que permite el paso del combustible desde el tanque o cilindro de almacenamiento hacia el sistema de distribución; como tuberías o mangueras llegando a los equipos. Por lo tanto es un dispositivo de control [32].



Fig. 12. Válvula de salida de gas [32]

### 2.5.2. Nivel de agua tubular

Instrumento simple y confiable para lectura directa de nivel de líquidos en tanques de almacenamiento de formas atmosféricas o presurizadas, a través de un tubo de cristal con protección mecánica: por medio de varillas, tubo de aluminio o de acrílico transparente. Son el método más simple y menos costoso en el mercado [33].



Fig. 13. Medidor de nivel tubular [33]

### 2.5.3. Válvula air-lock

La válvula air-lock admite que los gases  $\text{CO}_2$  producidos por la fermentación salgan a través de él, por medio del agua depositada en su interior, debido al aumento de presión dentro del tanque de fermentación, mientras que impiden el ingreso de otras bacterias que se encuentran en el exterior. De esta manera se impide la contaminación del mosto en el proceso de fermentación. Este tipo de válvulas son utilizadas en la fabricación de vino y cerveza debido a su bajo costo y gran funcionalidad [34].



Fig. 14. Válvula air-lock [34]

### CAPÍTULO III

## CÁLCULOS, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL FERMETADOR DE MOSTO DE CAPULÍ

### 3.1. Diseño y cálculo del fermentador

En el presente estudio se propone fermentar una cantidad de 150 litros de mosto de capulí para el Gobierno Autónomo Descentralizado de San José de Poaló y posteriormente generar vino de capulí, para lo cual se debe tener algunas consideraciones como; el mosto se encuentra a igual temperatura que el ambiente, la cual varía entre los 9 a 18 °C; posteriormente el mosto debe permanecer a una temperatura entre los 20 a 30 °C durante aproximadamente una semana, para completar el proceso; la altura en Poaló es de 2.750 metros sobre el nivel del mar y la presión de trabajo es de 14.92 PSI; el tanque de trabajo está fabricado con una base semi-toriesférica, con una doble camisa y el calentamiento es con quemador de GLP, o con un calefón con circuito de agua recirculatorio.

Como datos iniciales se tiene:

- a) Altura de San Juan de Poaló = 2750 m.s.n.m.
- b) Presión en San Juan de Poaló = 14.92 PSI

#### - Parámetros de diseño

Tabla 2. Especificaciones de diseño

Descripción	Valores
Capacidad	150 litros
Cuerpo	Cilíndrico
Base	Semi-toriesférica
Temperatura de trabajo	20 a 30 °C
Fluido a utilizar	Mosto de capulí

Elaborado por: Alejandra Lucero & David Chilibingua.

### 3.1.2. Diseño del tanque fermentador interno según esbeltez

Para el cálculo de la esbeltez del tanque del fermentador es necesario la relación de la altura y el diámetro [35].

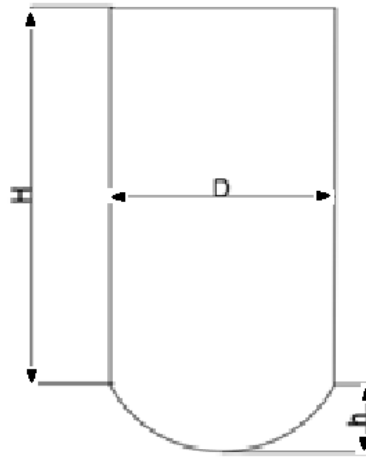


Fig. 15. Dimensiones del tanque fermentador

$$\lambda = \frac{H}{D} = 2 \quad (1)$$

Donde

$\lambda$  : Esbeltez

H: altura

D: diámetro

### 3.1.3. Cálculo de altura y diámetro del tanque

Para el cálculo de la altura de un tanque semi-toroidal es necesario determinar el diámetro según Ramírez [35].

$$V = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot 2 \cdot D \quad (2)$$

Donde:

V: volumen

D: diámetro

Al despejar el diámetro se obtiene:

$$D = \sqrt[3]{\frac{2 \cdot V}{\pi}} \quad (3)$$

$$D = 0.457 \text{ m}$$

$$H = 2 \cdot D$$

$$H = 0.914 \text{ m}$$

- **Altura de la base toriesférica**

Según Tipán [36], la altura de la parte semi-toriesférica está en función de la altura del tanque:

$$h = \frac{D}{4} \quad (4)$$

$$h = \frac{0.45 \text{ m}}{4} = 0.115 \text{ m}$$

- **Volumen del cilindro**

$$V_{cil} = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot H \quad (5)$$

$$V_{cil} = \frac{\pi \cdot 0.450^2}{4} \cdot 0.95 = 0.151 \text{ m}^3$$

- **Volumen base semi-toriesférica**

$$V_{tories} = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot h}{6} \quad (6)$$

$$V_{tories} = \frac{\pi \cdot (0.450)^2 \cdot 0.115}{6} = 0.012 \text{ m}^3$$

- **Volumen de llenado del tanque**

$$V_{llenado} = V_{cil} + V_{tories} \quad (7)$$

$$V_{llenado} = (0.151 + 0.012) \text{ m}^3$$

$$V_{llenado} = 0.154 \text{ m}^3 \cdot \frac{1000 \text{ L}}{1 \text{ m}^3} = 154 \text{ L}$$

En el proceso de fermentación existe la expulsión de gases, por lo cual se debe llenar el tanque hasta un 80 % de su capacidad [36].

$$V_{mosto} = V_{llenado} \cdot (0.80) \quad (8)$$

$$V_{mosto} = 162 \text{ L} \cdot (0.80) = 130 \text{ L} = 0.130 \text{ m}^3$$

**- Altura de llenado**

$$V_{cilin} = V_{mosto} - V_{tories} \quad (9)$$

$$V_{cilin} = (0.130 - 0.012) \text{ m}^3 = 0.118 \text{ m}^3$$

$$H_{lleno} = \frac{4 \cdot V_{cilin}}{\pi \cdot D^2} + 0.115 = \frac{4 \cdot (0.118 \text{ m}^3)}{\pi \cdot (0.460 \text{ m})^2} + 0.115 = 0.825 \text{ m}$$

$$H_{libre} = (0.920 - 0.825) \text{ m} = 0.095 \text{ m}$$

### 3.2. Altura compuesta de trabajo tanque fermentador interno

En el caso de ser un recipiente completamente cilíndrico la altura del tanque se determinará con la ecuación (10) [37].

$$h_t = \frac{\frac{V}{n_{ta}}}{\pi \cdot \left(\frac{D_i}{2}\right)^2} \quad (10)$$

Donde:

$h_t$ : altura del tanque

$D_i$ : diámetro interior

$V$ : volumen al que va a trabajar el tanque

$n_{ta}$ : número de tanques

Al ser un tanque con base toriesférica se toma en cuenta la altura que se obtuvo anteriormente:



$$H_{lleno} = \frac{4 \cdot V_{cilin}}{\pi \cdot D^2} + 0.115 = \frac{4 \cdot (0.118 \text{ m}^3)}{\pi \cdot (0.450 \text{ m})^2} + 0.115 = 0.85 \text{ m}$$

### 3.2.1. Presión ejercida por el mosto de capulí en el tanque

Según Vam Industry [37], la presión del fluido en el tanque de fermentación está dada por la ecuación (11):

$$\Delta P = \rho \cdot g \cdot H_{llenado} \quad (11)$$

$$\Delta P = \left(980 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) \cdot \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right) \cdot (0.85 \text{ m})$$

$$\Delta P = 7.937 \text{ kPa} \approx 0.08 \text{ atm}$$

### 3.2.2. Presión de diseño teórica

La presión de diseño teórica es igual a la sumatoria de: la presión compuesta, la presión de carga y la presión atmosférica [37].

$$P_t = \Delta P + P_c + P_{atm} \quad (12)$$

$$P_t = (0.08 + 1 + 1) \text{ atm} = 2.08 \text{ atm}$$

### 3.2.3. Presión de diseño interna

Para determinar la presión de diseño interna se le aumenta un 15 % a la presión de diseño teórica, para de esta forma garantizar el funcionamiento adecuado del tanque en caso existir sobre cargas [37].

$$P_d = P_t \cdot (1.15) \quad (13)$$

$$P_d = 2.08 \text{ atm} \cdot (1.15) = 2.392 \text{ atm}$$

### 3.2.4. Presión externa

Al situarse el tanque en un espacio físico en el cual la presión es igual a la atmosférica, se toma como valor 1 atm.

### 3.2.5. Presión en las paredes del tanque según la altura

Para determinar la presión que existe en las paredes se utilizaran las ecuaciones 14 y 15.

$$h_l = \frac{V}{\pi \left( \frac{D_i}{2} \right)^2} \quad (14)$$

$$P = \rho_{mosto} \cdot g \cdot h_l \quad (15)$$

Sabiendo que entre mayor sea la altura, mayor será la presión; se realiza los cálculos midiendo desde la superficie del mosto hasta su interior teniendo en cuenta que al calcular los 150 litros la presión será la mayor.

#### - Volumen 0.05 m<sup>3</sup>

$$h_l = \frac{0.05 \text{ m}^3}{\pi \cdot \left( \frac{396 \times 10^{-2}}{2} \right)^2} = 0.40 \text{ m}$$

$$P = 980 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 0.4 \text{ m} = 3.85 \text{ kPa}$$

#### - Volumen 0.075 m<sup>3</sup>

$$h_l = \frac{0.075 \text{ m}^3}{\pi \cdot \left( \frac{396 \times 10^{-2}}{2} \right)^2} = 0.608 \text{ m}$$

$$P = 980 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 0.608 \text{ m} = 5.85 \text{ kPa}$$

#### - Volumen 0.1 m<sup>3</sup>

$$h_l = \frac{0.1 \text{ m}^3}{\pi \cdot \left( \frac{396 \times 10^{-2}}{2} \right)^2} = 0.81 \text{ m}$$

$$P = 980 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 0.81 \text{ m} = 7.81 \text{ kPa}$$

### 3.3. Diseño de los espesores del tanque

#### 3.3.1. Diseño del espesor para el tanque cilíndrico

$$t_c = \frac{P_d \cdot L \cdot M}{2 \cdot S \cdot E - 0.2 \cdot P_d} \quad (16)$$

$$t_c = 0.001149 \text{ m} = 1.149 \text{ mm}$$

#### 3.3.2. Diseño del espesor del tanque sección semi-toricsférica

El espesor de la sección toricsférica al ser una sección que tiene una mayor presión debe tener un factor de seguridad [36].

$$t_{tor} = \frac{P_d \cdot R_{int}}{S \cdot E - 0.6 P_d} + c \quad (17)$$

$$t_{tor} = 0.895 \text{ mm}$$

#### 3.3.3. Selección del espesor para el recipiente interior

En los anteriores cálculos se determinó que el espesor del cilindro del tanque interior es  $t_c = 1.149 \text{ mm}$  y en la sección toricsférica el espesor  $t_{tor} = 0.895 \text{ mm}$ . Manteniendo un criterio conservador se utilizará una lámina de acero inoxidable A316 de 2 mm de espesor, el cual trabajará a una presión de 31 psi.

### 3.4. Carga de compresion en los soportes

Para los soportes se utilizará tubo cuadrado de 2" de acero inoxidable AISI 316. Se determina la esbeltez del soporte:

$$\lambda = \frac{k \cdot l}{r_{min}} \quad (18)$$

Donde:

k: factor de apoyo

l: longitud del soporte

$r_{\min}$  : radio mínimo

En el equipo de fermentación  $k=1.2$ , la longitud es igual a 0.580 m y el  $r_{\min} = 0.662$  in.

$$\lambda = \frac{1.2 \cdot 0.58 \text{ m} \cdot \frac{39.37 \text{ in}}{1 \text{ m}}}{0.662 \text{ in}}$$

$$\lambda = 41.39$$

Con la esbeltez se busca el esfuerzo admisible de compresión ( $F_a$ ) en el manual AISC, para este caso es necesario realizar una interpolación [38].

Tabla 3. Esfuerzo admisible de compresión.

$\lambda$	<b>Fa (ksi)</b>
41	19.11
41.39	19.05
42	19.03

Si se cumple que  $30 \leq \lambda \leq 80$  entonces se cumple que:

$$f_a = F_a \quad (19)$$

Donde:

$f_a$  : Esfuerzo real a compresión.

$F_a$  : Esfuerzo admisible a compresión.

Por lo tanto:

$$F_a = \frac{P}{A} \quad (20)$$

Donde:

$P$  : es la carga máxima que puede soportar el tubo.

$A$  : es el área del tubo.

$$P = F_a \cdot A \quad (21)$$

El área del tubo de 2" es igual a 1.27 in<sup>2</sup>.

$$P = 19.05 \text{ ksi} \cdot 1.27 \text{ in}^2$$

$$P = 24.19 \text{ klb}$$

En los soportes del equipo de fermentación se tomará en cuenta un factor de seguridad de  $\eta = 2$  cómo lo recomienda la norma ASME VIII para recipientes sometidos a presión [39]. La carga total que se tiene en el tanque es de aproximadamente  $3 \text{ kN} = 674.42 \text{ lbf}$ .

$$\eta = \frac{P_U}{P_S} \quad (22)$$

Donde:

$P_U$  : Carga última

$P_S$  : Carga de servicio

$$P_U = \eta \cdot P_S \quad (23)$$

$$P_U = 674.42 \text{ lbf} \cdot 2$$

$$P_U = 1.35 \text{ klbf}$$

### 3.5. Datos generales del Acero inoxidable (AISI 316)

Resistencia a la fluencia (Sy)	35 ksi
Esfuerzo Ultimo(Su)	84 ksi
Módulo de Elasticidad (E)	193 GPa
Densidad	7900 kg/m <sup>3</sup>
Conductividad térmica (K)	14.9w/m K
Temperatura Max	870-925°C
Calor Especifico	0.477 kJ/kg K

### 3.6. Cálculo de soldadura

#### 3.6.1. Preparación de bordes

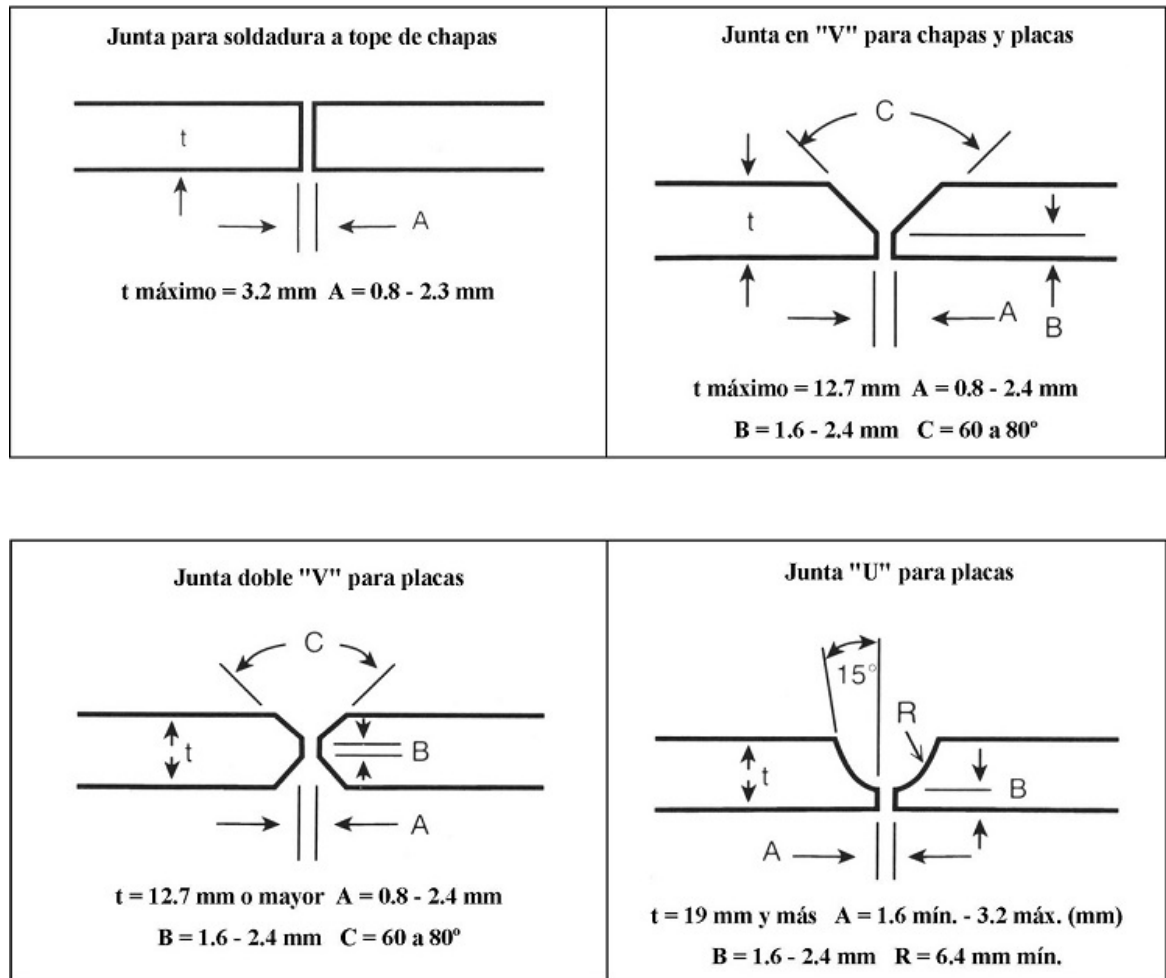


Fig 16. Preparación de bordes para unir con soldadura[40]

La preparación del borde para el proceso de soldadura dependerá del espesor de las chapas, para obtener un cordón de soldadura que soporte adecuadamente los esfuerzos a los que está sometido [40].

El espesor de las láminas de acero inoxidable A316 es de 2 mm, por lo que se realizará una junta para soldadura a tope de chapas; para la creación del equipo de fermentación, como nos indica la Figura 16.

#### 3.6.2. Esfuerzo normal en el cordón de soldadura a tope

Según Shigley [41], el esfuerzo normal en un cordón de soldadura es producido por la carga de tensión como en la ecuación (24) .

$$\sigma = \frac{F}{h \cdot l} \quad (24)$$

Donde:

F: carga de tensión

h: garganta de soldadura

l: longitud de la soldadura

La presión interna del tanque es igual a 2.39 atm  $\approx$  242.2 kPa y el área del tanque interno es 1.125 m<sup>2</sup>. Por lo tanto, la fuerza de tensión que existe en la plancha es de 272.7 kN.

$$\sigma = \frac{272.2 \text{ kN}}{0.9 \text{ m} \cdot 0.002 \text{ m}}$$

$$\sigma = 151.1 \text{ MPa} \approx 21.9 \text{ ksi}$$

### 3.6.3. Elección de varilla de aporte en la soldadura TIG

Para la fabricación del tanque fermentador, la base y algunos elementos que lo conforman; se debe ejecutar el proceso de soldadura para unir los componentes mecánicos. Al elegir un proceso de soldadura, se debe tener en cuenta que en su totalidad el cuerpo del fermentador es de acero inoxidable AISI 316, además de que este equipo trabajará en contacto con alimentos por lo que debe tener un excelente acabado superficial.

El proceso de soldadura Gas Tungsten Arc Welding (GTAW) es el más acorde a las especificaciones. La varilla de aporte seleccionado para soldar es el ER316L debido a que sus propiedades mecánicas son similares al de cuerpo y garantizan la resistencia a todos los esfuerzos y cargas que será sometido.

Tabla 4. Características de la varilla de porte 316L INDURA.

<b>Resultados de pruebas de tracción con probetas de metal de aporte</b>	<b>Requerimientos</b>	
Resistencia a la tracción:	580 MPa	490 MPa
Alargamiento de 50 mm:	48 %	30 %

Tabla 5. Características del electrodo AWS ER316L [40].

<b>Características del electrodo AWS ER316L</b>	
Procedimiento:	Soldadura TIG.
Descripción:	Varilla de aporte con un bajo porcentaje de carbono para soldadura TIG. Utilizar con gas inerte
Usos:	Uso en la industria alimenticia, de papel. Resistente a la corrosión por picadura.
Aplicaciones típicas:	Para soldadura de aceros inoxidable que contiene 16 a 21 % Cr, 10 a 15 % Ni, 0 a 3 % Mo, aceros estabilizados y no estabilizados tipos 316, 316L, 317, 317L, 316Ti, 318
Posiciones de soldadura:	Plana, horizontal, vertical, sobre cabeza.
Tipo de corriente:	Corriente continua polaridad directa (CCPD)

### 3.7. Análisis térmico

Para el análisis térmico en el equipo de fermentación se tomará como punto de partida un sistema cerrado, en el cual la masa de control que consta en él se mantendrá constante a través del tiempo. Se producirá solo el ingreso de energía al sistema en forma de calor para producir la fermentación, cruzando la frontera; además el volumen del sistema cerrado puede variar en el tiempo.

#### 3.7.1. Balance de energía

En un sistema cerrado el principio básico de balance energético determina la variación de energía que ingresa al sistema, menos la energía que sale del sistema Cengel [20].

$$E_{in} - E_{out} = \Delta E_{sistema} \quad (25)$$

Para este sistema, se calculará la energía que ingresa, que en este caso es la que proporcionará el quemador a gas para calentar 150 litros de mosto de capulí hasta una temperatura promedio de 35 °C, para producir la fermentación.



$$E_{in} = \Delta E_{sistema} + E_{out} \quad (26)$$

### 3.7.2. Variación de energía interna del sistema

Cengel et al [20], menciona que la energía interna del sistema es igual a la sumatoria de las energías internas, por lo que no se incluyen: la energía cinética, ni a la energía potencial gravitatoria global, ni la energía potencial elástica, debido a las variaciones que tiene cada una de ellas.

$$\Delta E_{sistema} = \Delta \mu_{sistema} \quad (27)$$

$$\Delta \mu_{sistema} = \Delta \mu_{mosto} + \Delta \mu_{T.int} + \Delta \mu_{agua} + \Delta \mu_{T.ext} + \Delta \mu_{A-36} + \Delta \mu_{tapa}$$

$$\begin{aligned} \Delta \mu_{sistema} = & (m \cdot Cp \cdot \Delta T)_{mosto} + (m \cdot Cp \cdot \Delta T)_{T.int} + (m \cdot Cp \cdot \Delta T)_{agua} \\ & + (m \cdot Cp \cdot \Delta T)_{T.ext} + (m \cdot Cp \cdot \Delta T)_{A-36} + (m \cdot Cp \cdot \Delta T)_{tapa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta E_{sistema} = & (m \cdot Cp \cdot \Delta T)_{mosto} + (m \cdot Cp \cdot \Delta T)_{T.int} + (m \cdot Cp \cdot \Delta T)_{agua} \\ & + (m \cdot Cp \cdot \Delta T)_{T.ext} + (m \cdot Cp \cdot \Delta T)_{A-36} + (m \cdot Cp \cdot \Delta T)_{tapa} \end{aligned}$$

Donde:

m: masa

Cp: calor específico

$\Delta T$ : variación de temperatura

### 3.7.3. Energía saliente o pérdidas de calor

En el proceso de calentamiento de agua en un sistema cerrado, donde no existe pérdida ni aumento de masa, las pérdidas de calor son producto de la convección natural y debido a la radiación [20].

$$E_{out} = E_{conv} + E_{rad} \quad (28)$$

$$Q_{out} = Q_{conv} + Q_{rad}$$

$$Q_{out} = h \cdot A_s \cdot (T_s - T_{\infty}) + \varepsilon \cdot \sigma \cdot (T_s^4 - T_{\infty}^4)$$

#### 3.7.4. Parámetros termodinámicos de diseño

En la siguiente tabla se detallan los datos para los cálculos termodinámicos.

Tabla 6. Parámetros termodinámicos de diseño

Símbolo	Parámetro	Valor
$T_{\infty}$	Temperatura ambiente	14 °C
$T_0$	Temperatura inicial del mosto	14 °C
$T_s$	Temperatura a la que llega el mosto	30° C
$T$	Temperatura de ingreso del agua	14 °C
$t$	Tiempo para que el mosto llegue a 30 °C	900 s
$L$	Altura del recipiente	1.03 m
$D$	Diámetro del recipiente interior	0.4 m

Elaborado por: Alejandra Lucero & David Chilibingua.

#### 3.7.5. Cálculos de masas

Para la resolución de la energía interna es necesaria la masa de cada uno de los componentes del tanque fermentador, puesto que todos intervienen en la transferencia de calor indirecta del sistema.

##### - Mosto de capulí

Según Castro [42], las propiedades térmicas de una fruta de la cual no existan valores se debe determinar su cantidad de agua, con este dato se compara con otras frutas que tengan un contenido de agua similar y se pueden utilizar las propiedades térmicas de esa fruta, para ello se realizó un estudio del fruto de capulí en el cual se determinó que este tiene una cantidad de agua del 76.09 % (anexo 1)

Tabla 7. Propiedades de alimentos comunes [20].

Frutas/ Vegetales	Contenido de agua, %(masa)	Temperatura, T, °C	Densidad, $\rho$ kg/m <sup>3</sup>	Conductividad térmica, k W/m °C	Difusividad térmica, $\alpha$ m <sup>2</sup> /s	Calor específico, C <sub>p</sub> kJ/kgK
Jugo de manzana	87	20	1000	0.559	0.14 x 10 <sup>-6</sup>	3.86
Manzanas	85	8	840	0.418	0.13 x 10 <sup>-6</sup>	3.81
Manzanas secas	41.6	23	856	0.219	0.096 x 10 <sup>-6</sup>	2.72
Chabacanos secos	43.6	23	1320	0.375	0.11 x 10 <sup>-6</sup>	2.77
Plátanos frescos	76	27	980	0.481	0.14 x 10 <sup>-6</sup>	3.59
Brócoli	-	-6	560	0.385	-	-
Moras frescas	92	0-30	1050	0.545	0.13 x 10 <sup>-6</sup>	3.99
Higos	40.4	23	1241	0.310	0.096 x 10 <sup>-6</sup>	2.69
Jugo de Toronja	89	20	1000	0.567	0.14 x 10 <sup>-6</sup>	3.91
Duraznos	89	2-32	960	0.526	0.14 x 10 <sup>-6</sup>	3.91
Ciruelas	-	-16	610	0.247	-	-
Papas	78	0-70	1055	0.498	0.13 x 10 <sup>-6</sup>	3.64
Pasas	32	23	1380	0.376	0.11 x 10 <sup>-6</sup>	2.48

Con la Tabla 7 se puede determinar que el plátano es la fruta que tiene el mismo contenido de agua, por lo que se utilizarán las propiedades de esta.

Datos:

Volumen	V =	0.13 m <sup>3</sup>
Calor específico	Cp =	3.59 kJ/kg K
Conductividad térmica	k =	0.481 w/m°C
Densidad	ρ =	980 kg/m <sup>3</sup>

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (29)$$

$$m = \rho \cdot v$$

$$m_{\text{mosto}} = 980 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0.130 \text{ m}^3$$

$$m_{\text{mosto}} = 127.4 \text{ kg}$$

**- Tanque interior de acero AISI 316 espesor de 2mm**

Datos:

Volumen	V=	3.382x10 <sup>-3</sup> m <sup>3</sup>
Calor específico	Cp=	0.477 kJ/kg K
Conductividad térmica	k=	14.9 w/m K
Densidad	ρ=	7900 kg/m <sup>3</sup>

$$m_{T.\text{int}} = 7900 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 3.382 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$m_{T.\text{int}} = 26.72 \text{ kg}$$

**- Cámara de agua**

Datos:

Volumen	V=	0,064 m <sup>3</sup>
Calor específico	Cp=	1.865 kJ/kg K
Densidad	ρ=	1000 kg/m <sup>3</sup>

$$m_{agua} = 1000 \frac{kg}{m^3} \cdot 0.064 m^3$$

$$m_{agua} = 64 kg$$

- **Tanque exterior acero AISI 316 de 2 mm de espesor**

Datos:

Volumen	V=	$3.755 \times 10^{-3} m^3$
Calor específico	Cp=	0.477 kJ/kg K
Conductividad térmica	k=	14.9 w/m K
Densidad	$\rho$ =	7900 kg/m <sup>3</sup>

$$m_{T.ext} = 7900 \frac{kg}{m^3} \cdot 3.755 \cdot 10^{-3} m^3$$

$$m_{T.ext} = 29.67 kg$$

- **Plancha de acero A-36**

Datos:

Volumen	V=	$1.159 \times 10^{-3} m^3$
Calor específico	Cp=	0.434 kJ/kg K
Densidad	$\rho$ =	7854 kg/m <sup>3</sup>

$$m_{A-36} = 7854 \frac{kg}{m^3} \cdot 1.159 \cdot 10^{-3} m^3$$

$$m_{A-36} = 9.10 kg$$

- **Tapa acero AISI 316**

Datos:

Volumen	V=	$1.137 \times 10^{-3} m^3$
Calor específico	Cp=	0.477 kJ/kg K
Conductividad térmica	k=	14.9 w/m K
Densidad	$\rho$ =	7900 kg/m <sup>3</sup>

$$m_{\text{tapa}} = 7900 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 1.137 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$m_{\text{tapa}} = 0.89 \text{ kg}$$

### 3.7.6. Variación de energía del sistema

$$\begin{aligned} \Delta E_{\text{sistema}} = & (m \cdot Cp \cdot \Delta T)_{\text{mosto}} + (m \cdot Cp \cdot \Delta T)_{T.\text{int}} + (m \cdot Cp \cdot \Delta T)_{\text{agua}} \\ & + (m \cdot Cp \cdot \Delta T)_{T.\text{ext}} + (m \cdot Cp \cdot \Delta T)_{A-36} + (m \cdot Cp \cdot \Delta T)_{\text{tapa}} \end{aligned} \quad (30)$$

$$\Delta E_{\text{sistema}} = \left[ \begin{aligned} & \left( 127.4 \text{ kg} \cdot 3.59 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right) + \left( 26.72 \text{ kg} \cdot 0.477 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right) \\ & + \left( 64 \text{ kg} \cdot 1.865 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right) + \left( 29.67 \text{ kg} \cdot 0.477 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right) \\ & + \left( 9.1 \text{ kg} \cdot 0.434 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right) + \left( 0.89 \text{ kg} \cdot 0.477 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right) \end{aligned} \right] \cdot (26 \text{ K})$$

$$\Delta E_{\text{sistema}} = 17942.74 \text{ kJ}$$

Al transformar kJ a kWh:

$$\Delta E_{\text{sistema}} = 17942.748 \text{ kJ} \left| \frac{1 \text{ kW} \cdot \text{h}}{3.6 \times 10^3} \right|$$

$$\Delta E_{\text{sistema}} = 4.98 \text{ kW} \cdot \text{h}$$

#### - Pérdidas de calor por convección

Una vez encontrado la variación de la energía interna que se produce en el sistema, se debe realizar el cálculo de las pérdidas de calor por convección natural.

$$T_f = \frac{T_s - T_\infty}{2} \quad (31)$$

Donde:

$T_f$ : Temperatura de la película

$T_s$ : Temperatura final

$T_\infty$ : Temperatura de inicio

$$T_f = \frac{(40-14) \text{ }^{\circ}\text{C}}{2}$$

$$T_f = 13^{\circ}\text{C} = 286\text{K}$$

Para determinar el coeficiente de transferencia de calor sobre la superficie es necesario consultar la conductividad térmica, el número de Prandtl y la viscosidad cinemática de las propiedades del aire con la temperatura antes calculada [20].

$$k = 0.0246 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$$

$$\text{Pr} = 0.7328$$

$$\nu = 1.452 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$$

Además, con el  $T_f$  se puede calcular el coeficiente de expansión volumétrica con la ecuación 32.

$$\beta = \frac{1}{T_f} \quad (32)$$

$$\beta = 0.0034 \text{ K}^{-1}$$

Ya determinado el valor del coeficiente de expansión volumétrica se procede a calcular el número de Rayleigh, el cual es igual a la multiplicación del número de Grashof y el número de Prandtl (ecuación 34).

$$Gr = \frac{g \cdot \beta (T_s - T_{\infty}) \cdot L_c^3}{\nu^2} \quad (33)$$

$$Gr = \frac{9.81 \text{ m/s}^2 \cdot (0.0034 \text{ K}^{-1}) \cdot (26 \text{ K}) \cdot (0.31)^3}{(1.452 \times 10^{-5})^2}$$

$$Gr = 1.22 \times 10^8$$

$$Ra = Gr \cdot \text{Pr} \quad (34)$$

$$Ra = 89.40 \times 10^6$$

La pared exterior del cilindro del equipo fermentador se tomará como una pared vertical, cuando el diámetro de este sea suficientemente grande como para despreciar la curvatura. Esto se determina con la siguiente condición.

$$D \geq \frac{35Lc}{Gr^{\frac{1}{4}}} \quad (35)$$

$$\frac{35 \cdot (0.31 \text{ m})}{(1.22 \times 10^8)^{\frac{1}{4}}} = 0.1032 \text{ m}$$

$$0.5 \text{ m} \geq 0.1032 \text{ m}$$

Al comprobar que el diámetro es suficientemente grande, se calcula el número de Nusselt utilizando las correlaciones empíricas, de esta manera se puede calcular el valor de la convección natural sobre la pared plana vertical con la ecuación 38.

$$Nu = \left\{ 0.825 + \frac{0.387 \cdot Ra^{\frac{1}{6}}}{\left[ 1 + \left( \frac{0.492}{Pr} \right)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{8}{27}}} \right\}^2 \quad (36)$$

$$Nu = 119.202$$

$$h = \frac{k}{L} \cdot Nu \quad (37)$$

$$h = \frac{0.0264 \text{ W/mK}}{0.31 \text{ m}} \cdot 119.202$$

$$h = 9.45 \text{ W/m}^2\text{K}$$

- **Área de transferencia de calor**

$$A = \phi \cdot \pi \cdot h \quad (38)$$

$$A = 0.5 \text{ m} \cdot \pi \cdot 1.03 \text{ m}$$

$$A = 1.61 \text{ m}^2$$



Ya obtenidos todos los valores necesarios para determinar la pérdida de calor por transferencia de calor debido a la convección natural del sistema, se procede a calcularla.

$$Q_{conv} = h \cdot A_s \cdot (T_s - T_\infty) \quad (39)$$

$$Q_{conv} = 9.45 \frac{W}{m^2 \cdot K} \cdot (1.61 \text{ m}^2) \cdot (26 \text{ K})$$

$$Q_{conv} = 395.577 \text{ W}$$

#### - Pérdida de calor por radiación

Para determinar la pérdida de calor por radiación es necesario conocer el valor de emisividad del material, en este caso del acero inoxidable A316.

$$Q_{rad} = \varepsilon \cdot A_s \cdot \sigma \cdot (T_s^4 - T_\infty^4) \quad (40)$$

$$\varepsilon = 0.17$$

valor de la emisividad del acero inoxidable A316

$$\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2 \cdot K^4} \quad \text{constante de Stefan-Boltzmann [20].}$$

$$Q_{rad} = 0.17 \cdot (1.61 \text{ m}^2) \cdot \left( 5.67 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2 \cdot K^4} \right) \cdot (313^4 - 287^4) K^4$$

$$Q_{rad} = 43.65 \text{ W}$$

#### - Pérdidas totales de calor

La pérdida total de calor es igual a la sumatoria de pérdidas en este caso por convección y radiación [20].

$$Q_{Total} = Q_{conv} + Q_{rad} \quad (41)$$

$$Q_{Total} = (395.577 + 43.65) \text{ W}$$

$$Q_{Total} = 439.227 \text{ W} = Q_{out}$$

Para determinar la energía de salida en Joules, se debe multiplicar el valor obtenido por el tiempo que está en funcionamiento el equipo, finalmente transformar a kWh.

$$E_{out} = Q_{out} \cdot t \quad (42)$$

$$E_{out} = 439.227 \frac{J}{s} \cdot 900s$$

$$E_{out} = 395.3 J \cdot \left| \frac{kW \cdot h}{3.6 \times 10^6 J} \right|$$

$$E_{out} = 0.109 kW \cdot h$$

Finalmente, con la ecuación 26, se puede determinar la energía necesaria para producir la fermentación del mosto de capulí, en un sistema cerrado ideal.

$$E_{in} = (4.984 + 0.109) kW \cdot h$$

$$E_{in} = 5.093 kW \cdot h = E_{requerida}$$

### 3.8. Cálculo de temperatura óptima de la cámara de agua

Al necesitar que el mosto se mantenga a una temperatura entre los 20 a 30 °C, se debe determinar la temperatura de la cámara de agua que cubre al tanque interior. Para este procedimiento se realizan varias interpolaciones para determinar las temperaturas adecuadas para el agua.

$$Q = \frac{T_1 - T_2}{R_T} \quad (43)$$

$$R_T = R_{cond\_agua} + R_{cond\_inox} + R_{cond\_mosto} \quad (44)$$

Para determinar la resistencia de transferencia de calor en cilindros se utiliza la ecuación 45 [20].

$$R_{cil} = \frac{\ln\left(\frac{r_1}{r_2}\right)}{2 \cdot \pi \cdot l \cdot k} \quad (45)$$

- Si la temperatura de la cámara es de 40 °C

$$R_T = \frac{\ln\left(\frac{248}{200}\right)}{2 \cdot \pi \cdot 0.9m \cdot 0.631 \frac{W}{m \cdot K}} + \frac{\ln\left(\frac{200}{198}\right)}{2 \cdot \pi \cdot 0.9m \cdot 14.9 \frac{W}{m \cdot K}} + \frac{0.198m}{\pi \cdot 0.396m \cdot 0.9m \cdot 0.481 \frac{W}{m \cdot K}}$$

$$R_T = 0.428 \frac{K}{W}$$

Antes se calculó que  $Q = 40.93W$  por lo que:

$$40.93 W = \frac{313K - T_2}{0.428 \frac{K}{W}}$$

$$T_2 = 295 K = 22 ^\circ C$$

- Si la temperatura de la cámara es de 50 °C

$$R_T = \frac{\ln\left(\frac{248}{200}\right)}{2 \cdot \pi \cdot 0.9m \cdot 0.649 \frac{W}{m \cdot K}} + \frac{\ln\left(\frac{200}{198}\right)}{2 \cdot \pi \cdot 0.9m \cdot 14.9 \frac{W}{m \cdot K}} + \frac{0.198m}{\pi \cdot 0.396m \cdot 0.9m \cdot 0.481 \frac{W}{m \cdot K}}$$

$$R_T = 0.426 \frac{K}{W}$$

$$40.93 W = \frac{323K - T_2}{0.426 \frac{K}{W}}$$

$$T_2 = 305 K = 32 ^\circ C$$

- Si la temperatura de la cámara es de 55 °C

$$R_T = \frac{\ln\left(\frac{248}{200}\right)}{2 \cdot \pi \cdot 0.9m \cdot 0.654 \frac{W}{m \cdot K}} + \frac{\ln\left(\frac{200}{198}\right)}{2 \cdot \pi \cdot 0.9m \cdot 14.9 \frac{W}{m \cdot K}} + \frac{0.198m}{\pi \cdot 0.396m \cdot 0.9m \cdot 0.481 \frac{W}{m \cdot K}}$$

$$R_T = 0.426 \text{ } K/W$$

$$40.93 \text{ } W = \frac{328K - T_2}{0.426 \text{ } K/W}$$

$$T_2 = 310 \text{ } K = 37 \text{ } ^\circ C$$

Para garantizar la fermentación adecuada del mosto la temperatura de la cámara de agua se debe mantener entre los 50°C y 40 °C.

### 3.9. Barolado de las planchas de acero AISI 316

Para realizar un rolado de varilla, láminas de metal, lo que hay que tener en cuenta es el espesor de esta, puesto que para calcular el material necesario se toma la fibra neutra, en el caso de un círculo se toma un espesor completo. Se utiliza la siguiente fórmula:

$$P = (\phi - e) \cdot \pi \quad (46)$$

#### 3.9.1. Barolado del tanque interno

El tanque interno tiene un diámetro de 400 mm y un espesor de 2 mm.

$$P = (400 \text{ } mm - 2 \text{ } mm) \cdot \pi$$

$$P = 1250.35 \text{ } mm$$

#### 3.9.2. Barolado del tanque externo

El tanque externo tiene un diámetro de 500 mm y un espesor de 2 mm.

$$P = (500 \text{ } mm - 2 \text{ } mm) \cdot \pi$$

$$P = 1564.51 \text{ } mm$$

## **CAPÍTULO IV**

### **ANÁLISIS DE COSTOS**

En este capítulo se desarrollará y analizará los costos que determinarán la cantidad de recursos económicos y físicos para el diseño y construcción del equipo para fermentar mosto de capulí, que aumentará la economía de San José de Poaló, así también se determinará la rentabilidad de este.

A continuación, se determinará los materiales para la ejecución de este proyecto.

#### **4.1. Materiales para la fabricación del prototipo**

	Tanque interno de acero A316
	Tanque externo de acero A316
	Tapa de tanque de acero A316
	Estructura del tanque de acero A316
	Termómetro
<b>TANQUE</b>	Válvula air-lock
	Llave de media vuelta de ¾"
	Llave de media vuelta de ½"
	Nivel de agua tubular
	Quemador industrial a gas
	Empaques
	Plancha de acero A36
	Termómetro de mano

A lo largo del proyecto se deben definir los tipos de costos para facilitar el análisis de este.

#### **4.2. Costos directos variables**

Los costos variables directos, son aquellos que tienen relación con la materia prima y elementos necesarios para la construcción del equipo de fermentación de mosto de capulí.

#### 4.2.1. Costo de materiales directos

Aquí se detalla el costo de la materia prima que será procesada para la construcción de la marmita, en la Tabla 8 se indica los materiales utilizados.

Tabla 8. Detalle de costos de materiales directos

Descripción	Cant.	Precio unitario	Costo total + IVA
Plancha de acero inoxidable A316	3	\$ 35.00	\$ 453.60
Tubo cuadrado de acero inox 20x20x2mm	1	\$ 35.00	\$ 39.20
Tubo circular inox 3/4"	1	\$ 15.00	\$ 16.80
Tubo circular inox 2"	1	\$ 25.00	\$ 28.00
Plancha de acero A36	1	\$ 50.00	\$ 56.00
<b>TOTAL</b>			<b>\$ 593.60</b>

Elaborado por: Alejandra Lucero & David Chilibingua

#### 4.2.2. Costo de materiales estandarizados

Los materiales estandarizados son aquellos creados bajo normas y estándares internacionales. No es necesario modificarlos simplemente son montados en el equipo, a continuación, el detalle en la Tabla 9.

Tabla 9. Detalle de costos de materiales estandarizados.

Descripción	Cant.	Precio unitario	Costo total + IVA
Pernos m10	3	\$ 0.40	\$ 1.34
Tuerca mariposa m10	3	\$ 0.20	\$ 0.67
Neplo 3/4"	1	\$ 4.00	\$ 4.48
Neplo 2"	1	\$ 8.00	\$ 8.96
Tapón 2"	1	\$ 5.00	\$ 5.60
Neplo 1/2"	4	\$ 3.00	\$ 13.44
Caucho sello	1	\$ 0.89	\$ 1.00
Termómetro	1	\$ 16.96	\$ 19.00
Válvula de media vuelta 3/4"	1	\$ 5.36	\$ 6.00
Nivel de agua tubular	1	\$ 58.04	\$ 65.00
Válvula air-lock	1	\$ 11.61	\$ 13.00
Termómetro manual	1	\$ 3.57	\$ 4.00
<b>TOTAL</b>			<b>\$ 142.50</b>

#### 4.2.3. Costo de máquinas y herramientas

Aquí se detallan los costos de la mano de obra en el proceso de transformación de la materia prima, en la Tabla 10, se determina el costo y el tiempo de estos.

Tabla 10. Detalle de costos de maquinado

Descripción	Tiempo (horas)	Costo total
Soldadura	20	\$ 250.00
Barolado	3	\$ 80.00
<b>TOTAL</b>		<b>\$ 330.00</b>

Elaborado por: Alejandra Lucero & David Chiliquinga

#### 4.2.4. Costos directos totales

Tabla 11. Costos directos totales.

Descripción	Cant.	Costo total
Material directo	1	\$ 593.60
Material estandarizado	1	\$ 142.50
Maquinado	1	\$ 330.00
<b>TOTAL</b>		<b>\$ 1066.10</b>

Elaborado por: Alejandra Lucero & David Chiliquinga

#### 4.3. Costos indirectos fijos

Estos costos se determinan al finalizar la construcción del equipo, por lo que se desconoce su costo en su totalidad al iniciar el proyecto.

##### 4.3.1. Costos de materiales indirectos

En este caso a estos materiales se los puede llamar consumibles debido a que son materiales de un solo uso y al finalizar con su trabajo estos son desechados; en la Tabla 12, se detallan los mismos.

Tabla 12. Detalle de materiales indirectos

Descripción	Cant	Unid.	Precio unitario	Costo total + IVA
Grata circular	1	Und	\$ 6.25	\$ 7.00
Lija de agua #1000	7	Und	\$ 0.49	\$ 3.84

Disco de corte hierro 7x 1/16"	2	Und	\$ 1.45	\$ 3.25
Disco de corte hierro 2 x 1/16"	2	Und	\$ 1.15	\$ 2.58
Disco de corte hierro 2 x 1/8"	2	Und	\$ 1.10	\$ 2.46
Gel limpiador decante	100	gramos	\$ 7.25	\$ 8.12
Electrodo inoxidable	6	kg	\$ 15.00	\$ 100.80
Argón	2	Und	\$ 20.00	\$ 44.80
<b>TOTAL</b>				<b>\$172.85</b>

Elaborado por: Alejandra Lucero & David Chiliquinga

#### 4.3.2. Varios

En la siguiente Tabla 13, se enumeran los gastos adicionales tales como: transporte, comunicación, y logística.

Tabla 13. Detalle de gastos adicionales

Descripción	Cant	Unidad	Precio unitario	Costo total
Impresiones	500	hojas	\$ 0.20	\$100.00
Transportes de materiales	30	viajes	\$ 0.50	\$ 15.00
Internet	100	horas	\$ 0.46	\$ 46.00
Recargas	3	Und	\$ 3.00	\$ 9.00
Transporte tanque	1	viaje	\$ 70.00	\$ 70.00
Alimentación	5	almuerzos	\$ 4.50	\$ 22.50
Electricidad	1	mes	\$ 10.00	\$ 10.00
<b>TOTAL</b>				<b>\$ 272.50</b>

Elaborado por: Alejandra Lucero & David Chiliquinga

#### 4.3.3. Costos indirectos totales

Es igual a la suma de los costos de materiales indirectos y varios, se detallan en la Tabla 14.

Tabla 14. Detalle de costos indirectos totales

Descripción	Cant.	Costo total
-------------	-------	-------------



Material indirecto	1	\$ 172.85
Varios	1	\$ 272.50
<b>TOTAL</b>		<b>\$ 445.35</b>

Elaborado por: Alejandra Lucero & David Chilibuina

#### 4.4. Costo total del equipo para fermentación

En la Tabla 15, se encuentra detallados los valores de la inversión total en la construcción y funcionamiento del equipo de fermentación en la ciudad de San José de Poaló.

Tabla 15. Costo total del equipo para fermentar mosto de capulí.

<b>Descripción</b>	<b>Costo Total</b>
Material directo	\$ 1066.10
Material indirecto	\$ 445.35
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 1511.45</b>

Elaborado por: Alejandra Lucero & David Chilibuina

#### 4.5. Proyección de ingresos anuales

Tomando en cuenta que no todo el mosto de capulí que ingresa al fermentador se convertirá en vino, sino también en residuos, se determina que aproximadamente se obtendrá 96 litros de vino de capulí, los cuales se embazarán en botellas con capacidad de 750 ml, las cuales tendrán un costo por unidad de 6 USD.

Por lo tanto, se producirán 125 botellas en un tiempo estimado de 2 semanas, produciendo mensualmente 1500 USD; se debe tomar en cuenta que esta fruta aparece solo en los 3 primeros meses del año por lo que se producirá una utilidad bruta de 4500 USD anualmente. Estos datos serán proyectados en los siguientes 5 años con un incremento de 2.5 %.

Tabla 16. Proyección de ingresos rentables del equipo de fermentación.

<b>Año</b>	<b>Ingreso mensual</b>	<b>Ingreso anual</b>
1	\$ 1500.00	\$ 4500.00
2	\$ 1537.50	\$ 4612.50
3	\$ 1575.94	\$ 4727.81
4	\$ 1615.34	\$ 4846.01

#### 4.6. Análisis de tasa mínima del rendimiento (TMAR)

Para el cálculo de la tasa de descuento (TMAR) se utiliza la ecuación 47:

$$T_d = I + \frac{(T_p + T_a)}{2} \quad (47)$$

Donde:

I: inflación

T<sub>p</sub>: Tasa pasiva

T<sub>a</sub>= tasa activa

El INEC en el 2019 señala que la tasa de inflación en la República del Ecuador es del 0.27 %, y según el Banco Central del Ecuador la tasa activa es 7.63 % y la tasa pasiva 4.99 % en el país [43].

$$T_d = 0.27\% + \frac{(7.63\% + 4.99\%)}{2}$$

$$T_d = 6.58 \%$$

#### 4.7. Análisis del valor actual neto (VAN)

Para el análisis del valor actual neto se deben mantener ciertos criterios que son descritos a continuación:

Tabla 17. Criterios del Valor Actual Neto (VAN) [44].

Descripción	Criterio
La inversión es mayor que el beneficio neto actualizado, lo cual hace un proyecto no rentable	VAN > 0
	VAN = 0

El beneficio neto actual es igual a cero se cumple con la tasa de descuento, pero no se obtiene ganancias, se lo llama proyectos rentables

Si el beneficio neto actual es mayor que la inversión se cumple con la tasa de descuento y además se generan utilidades  $VAN > 0$

---

Para el cálculo del VAN se utilizará la ecuación 48.

$$VAN = -I_o + \sum_{t=1}^n \frac{Ft}{(1-r)^t} \quad (48)$$

Donde:

$I_o$ : inversión inicial del proyecto

$F_t$ : flujos futuros que producirá el proyecto

$r$ : tasa de retorno del proyecto

$t$ : cantidad de años a utilizarse el proyecto

#### **4.8. Análisis de tasa interna de retorno (TIR)**

Es la tasa de descuento indica si la inversión es viable, disminuyendo así el riesgo de pérdidas. Para aceptar el proyecto de cumplirse que el  $TIR >$  tasa de descuento.

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{Vt}{(1+TIR)^t} - I_o = 0 \quad (49)$$

Tabla 18. Flujo de caja del primer año

Flujo de caja del primer año												
	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6	Mes 7	Mes 8	Mes 9	Mes 10	Mes 11	Mes 12
<b>Ingresos de caja</b>	<b>\$640,00</b>	<b>\$1.020,00</b>	<b>\$990,00</b>	<b>\$1.110,00</b>	<b>\$630,00</b>	<b>\$210,00</b>	<b>\$0,00</b>	<b>\$0,00</b>	<b>\$0,00</b>	<b>\$0,00</b>	<b>\$0,00</b>	<b>\$0,00</b>
Venta	\$540,00	\$1.020,00	\$990,00	\$1.110,00	\$630,00	\$210,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00
Cantidad	\$90,00	\$170,00	\$165,00	\$185,00	\$105,00	\$35,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00
Precio	\$6,00	\$6,00	\$6,00	\$6,00	\$6,00	\$6,00	\$6,00	\$6,00	\$6,00	\$6,00	\$6,00	\$6,00
Aporte capital	\$100,00											
<b>Egresos de caja</b>	<b>\$525,80</b>	<b>\$540,80</b>	<b>\$540,80</b>	<b>\$70,80</b>	<b>\$65,80</b>	<b>\$32,50</b>	<b>\$12,50</b>	<b>\$12,50</b>	<b>\$12,50</b>	<b>\$12,50</b>	<b>\$12,50</b>	<b>\$12,50</b>
Botellas, etiquetas y corchos	\$250,00	\$250,00	\$250,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00
Precio	\$1,50	\$1,50	\$1,50	\$1,50	\$1,50	\$1,50	\$1,50	\$1,50	\$1,50	\$1,50	\$1,50	\$1,50
Transporte	\$25,00	\$40,00	\$40,00	\$45,00	\$40,00	\$20,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00
Materia prima	\$100,00	\$100,00	\$100,00									
<b>Costos fijos</b>	<b>\$38,40</b>	<b>\$38,40</b>	<b>\$38,40</b>	<b>\$38,40</b>	<b>\$38,40</b>	<b>\$25,10</b>	<b>\$25,10</b>	<b>\$25,10</b>	<b>\$25,10</b>	<b>\$25,10</b>	<b>\$25,10</b>	<b>\$25,10</b>
Luz	\$5,00	\$5,00	\$5,00	\$5,00	\$5,00	\$5,00	\$5,00	\$5,00	\$5,00	\$5,00	\$5,00	\$5,00
Agua	\$8,00	\$8,00	\$8,00	\$8,00	\$8,00	\$3,00	\$3,00	\$3,00	\$3,00	\$3,00	\$3,00	\$3,00
Internet	\$2,00	\$2,00	\$2,00	\$2,00	\$2,00	\$2,00	\$2,00	\$2,00	\$2,00	\$2,00	\$2,00	\$2,00
Tanque de gas	\$10,80	\$10,80	\$10,80	\$10,80	\$10,80	\$2,50	\$2,50	\$2,50	\$2,50	\$2,50	\$2,50	\$2,50
Depreciación	\$12,60	\$12,60	\$12,60	\$12,60	\$12,60	\$12,60	\$12,60	\$12,60	\$12,60	\$12,60	\$12,60	\$12,60
Flujo del mes	\$114,20	\$479,20	\$449,20	\$1.039,20	\$564,20	\$177,50	-\$12,50	-\$12,50	-\$12,50	-\$12,50	-\$12,50	-\$12,50
<b>Flujo acumulado</b>	<b>\$114,20</b>	<b>\$593,40</b>	<b>\$1.042,60</b>	<b>\$2.081,80</b>	<b>\$2.646,00</b>	<b>\$2.823,50</b>	<b>\$2.811,00</b>	<b>\$2.798,50</b>	<b>\$2.786,00</b>	<b>\$2.773,50</b>	<b>\$2.761,00</b>	<b>\$2.748,50</b>

Elaborado por: Alejandra Lucero & David Chilibingua

#### 4.9. Período de retorno de la inversión

El período de retorno de la inversión es el tiempo en el cual los ingresos generados por el equipo costearán el costo de este [44].

$$PP = \frac{\text{Costo de inversión}}{\text{Ingreso generado}} \quad (50)$$

$$PP = \frac{1511.45}{2748} = 7 \text{ meses}$$

El retorno de la inversión del equipo será de 7 meses.

En la Tabla 19, se muestra el cálculo del valor actual neto, además de la tasa interna de retorno en una relación de beneficios y costos con el TMAR = 6.68 % anteriormente calculado.

Tabla 19. Análisis de costos.

Detalle		Año 1	Año 2	Año 3
Flujo operativo				
Ingresos de operación		\$ 4500	\$ 4613	\$ 4728
Egresos de operación		\$ 1852	\$ 1898	\$ 1945
Total flujo operativo		\$ 2649	\$ 2715	\$ 2783
Flujo de inversión				
Inversiones		(1511)	-	-
Total flujo de inversión		(1511)	-	-
Total flujo de caja	(1511)	\$ 1138	\$ 2715	\$ 2783
<b>EVALUACIÓN ECONÓMICA</b>				
Inversión total				(1.511)
Tasa de descuento				6.68%
VAN del equipo				4233
TIR				105.94%
IR				380.12%
Resultado				<b>ACEPTO</b>

Elaborado por: Alejanra lucero & David Chilibiquinga

Al realizar el análisis de los costos se determina que la inversión inicial es de 1511.45 USD para su fabricación.

El Valor Actual Neto indica un valor de 4233 USD, siendo mayor a cero indica que la inversión de este proyecto va a generar ganancias y que es viable.

El TIR da como resultado un valor de 380 %, que muestra la tasa mínima de interés de ganancia igual a 6.68 %. Por lo que nos muestra un resultado de rentabilidad.

El período de retorno de inversión, nos indica que el tiempo para recuperar lo invertido en la construcción del equipo de fermentación será de 7 meses, lo cual se lo alcanzará en el primer año de funcionamiento y después de este tiempo se generan ganancias.

## **CONCLUSIONES**

Este equipo para fermentar mosto de capulí es utilizado para la motivación de emprendimiento para la comunidad de San José de Poaló debido a que al comercializarlo en forma de vino se obtiene un 15 % adicional que al venderlo en su estado natural.

Para la fabricación se optó por un tanque cilíndrico vertical con fondo semi-torresférico que cumple con una producción de 125 botellas de 750 ml de vino de capulí en cada ciclo de fermentación, creando nuevas formas de emprendimiento, y así aumentar la economía de la comunidad.

Se realizaron 5 pruebas de funcionamiento obteniendo un tiempo promedio de 10 horas, que el fermentador mantiene la temperatura óptima de 50 °C en la cámara de agua, la cual mantendrá la estabilidad microbiológica en el mosto.

La inversión total del equipo de fermentación es de 1511.45 USD, la cual retornara en un lapso de 7 meses, produciendo 750 botellas en la temporada anual de capulí. El Valor Actual Neto tiene un valor de 4.233 USD, esto significa que la inversión de este proyecto va a generar ganancias y que es viable. El TIR da como resultado un valor de 380 %, esto nos muestra un resultado de rentabilidad.

## **RECOMENDACIONES**

Automatizar el sistema de recirculación de agua caliente, para aumentar eficiencia de la transferencia de calor entre la cámara de agua y el mosto, con la utilización de termocuplas y electroválvulas, las cuales se abrirán y permitirán el ingreso de agua caliente a la cámara cuando la temperatura del mosto descienda de los 20 °C.

En el caso de realizar un vino de otra fruta se recomienda realizar un análisis de la cantidad de agua y azúcares totales, para de esta manera determinar sus propiedades térmicas, y calcular la temperatura adecuada en la cámara de agua.

Si se diseña un tanque fermentador de gran capacidad, se recomienda utilizar un intercambiador de calor en espiral dentro del tanque interior, de esta manera se asegura que en todo el mosto se encuentra a la misma temperatura.

Para el presente proyecto no se utilizó un panel de control, sensores y electroválvulas, sin embargo, se recomienda implementar estos dispositivos para monitorear la temperatura del mosto y aumentar la eficiencia del equipo.



## Referencias

- [1] R. Flinn and P. Trojan, *Materiales de Ingeniería y sus aplicaciones*. Bogota: McGraw Hill, 1989.
- [2] M. de Cultura, “Capulí,” 2016. [Online]. Available: <http://patrimonioalimentario.culturaypatrimonio.gob.ec/wiki/index.php/Capulí>.
- [3] G. I. Puerta Quintero, “Fundamentos del proceso de fermentación en el beneficio del café,” 2010.
- [4] C. De Vino, “Definición del vino. Tipos de vinos,” pp. 3–6.
- [5] (GAD Poalo), “Datos generales de la parroquia ‘Poaló,’” *Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial Rural de San Jose de Poaló*, 2014. [Online]. Available: <http://sanjosedepoalo.gob.ec/cotopaxi/?p=74>.
- [6] Carrera, Garcia, and Unigarro, “Capulí,” 2014. [Online]. Available: <http://patrimonioalimentario.culturaypatrimonio.gob.ec/wiki/index.php/Capulí>.
- [7] R. Beltrán, “La Elaboración del Vino,” *Curso Enol. y Cata del Aula la Exp.*, p. 24.
- [8] K. J. Baños Gaibor, “Identificación y Descripción de las características anatómicas de la madera de *Prunus Serotina* (Capulí), procedente de tres provincias: Chimborazo, Tungurahua y Cotopaxi,” vol. 5, p. 146, 2017.
- [9] M. Guijarros, “Diseño de un proceso para producir un licor con sabor a capulí,” 2013.
- [10] O. R. Moncayo Contreras, “Análisis de la diversidad genética del capulí (*Prunus Serotina*), en la región andina del Ecuador, utilizando marcadores moleculares AFLP,” 2017.
- [11] W. Popenoe and A. Pancho, “The capulín cherry,” *J. Hered.*, vol. 13, no. 2, pp. 51–62, 1922.
- [12] M. Jimenez, I. Castillo, E. Azuara, and C. Beristain, “ANTIOXIDANT AND ANTIMICROBIAL ACTIVITY OF CAPULIN (*Prunus serotina* subsp capuli) EXTRACTS,” *Rev. Mex. Ing. Quim.*, vol. 10, no. 1, pp. 29–37, 2011.
- [13] E. J. Borja, “Caracterización eco-geográfica de *Prunus serotina* Ehrh subsp . capuli ( Cav .) McVaugh ( capulí ), en la región andina de Ecuador,” no. September, 2017.

- [14] P. F. Stanbury, A. Whitaker, and S. J. Hall, "Media for Industrial Fermentations," *Princ. Ferment. Technol.*, pp. 93–110, 1999.
- [15] E. Vega, "Producción de Alimentos por Actividad Bacteriana- Fermentación," pp. 1–12.
- [16] H. Herrera, Pilotzi, "Introducción al mundo del vino," *Países y Reg. del vino.*, p. 27, 2007.
- [17] A. Smolec, "Vinos rosados," 2015.
- [18] K. Wark and D. Richards, "Termodinamica\_Wark.Pdf." p. 1049, 2001.
- [19] C. Ramos, "Mecanismos de transferencia de calor," *Transf. calor*, pp. 407–427, 2012.
- [20] Y. A. Cengel and A. J. Ghajar, *Transferencia de calor y masa*, McGraw Hil. 2001.
- [21] Indura, "Manual Aceros Inoxidables," 2010. .
- [22] Carbone Stainless Steel, "Ficha Técnica Del Acero Inoxidable," no. X.
- [23] Compania General de Aceros, "Acer-os inoxidables," 2012. .
- [24] C. E. Flores, "Soldadura al Arco Eléctrico SMAW," no. 08, p. 12, 2009.
- [25] V. Luna, "Tipos de uniones," *Fundam. Manuf. Mod.*, p. 694, 2007.
- [26] J. C. Gil, E. Berbós, and T. Herranz, *Manual De Mecanica Industrial*, 1st ed. Madrid, 1999.
- [27] J. Barros and F. Yajamín, "Repotenciación de una máquina baroladora de 4mm," 2013.
- [28] E. De Torricelli, "Fuerza y Presión en los fluidos," pp. 69–91.
- [29] Y. Cengel and J. M. Cimbala, *Mecánica de Fluidos*, McGraw-Hil. Monterrey.
- [30] P. Lechero, "Proceso de Pausterización." [Online]. Available: [http://www.portalechero.com/innovaportal/v/725/1/innova.front/proceso\\_de\\_pasteurizacion\\_.html](http://www.portalechero.com/innovaportal/v/725/1/innova.front/proceso_de_pasteurizacion_.html).
- [31] Inglesa, "Diseño y Cálculo de Tanques de Almacenamiento," pp. 1–130.
- [32] C. Wong, "Válvula de gas: Tips de instalación y mantenimiento," *Heat Wave*, 2017. [Online]. Available: <https://www.heatwave.com.mx/noticias/valvula-de-gas/>.
- [33] T. D. E. Cristal, C. O. N. Valvulas, and C. Tecnicas, "Serie 4005."
- [34] Probiotico, "Fermentando en frascos de cristal: sistema de cerrado mediante válvulas air-lock," *Mundo Bacteriano*, 2014. [Online]. Available: <http://www.mundobacteriano.com/fermentando-en-frascos-de-cristal-sistema->

air-lock-de-cerrado/.

- [35] C. M. Ramirez Tapia, “DISEÑO DE UNA PLANTA PILOTO PARA LA PRODUCCIÓN DE YOGUR EN LA FACULTAD DE INGENIERIA QUÍMICA TRABAJO,” Universidad Central del Ecuador, 2014.
- [36] M. L. Tipán Quise and D. A. Flores Santos, “UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE QUITO,” Universidad Politécnica Salesiana, 2018.
- [37] VAM INDUSTRY, “Manual de cálculos,” *Depósito Digit. Univ. Barcelona*, p. 284, 2016.
- [38] AISC, *AISC Steel Construcccion Manual*, 13th ed. .
- [39] ASME, “Recipientes sometidos a presión,” no. Asme Viii, pp. 1–9, 2015.
- [40] INGEMECHANICA, “Soldadura de los Acero Inoxodables,” 2016. [Online]. Available: <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn48.html>.
- [41] R. Budynas, *Diseño en Ingenieria Mecanica de Shigley*, Novena. Mexico: McGraw Hill, 2012.
- [42] E. Castro, “Propiedades Térmicas de los Alimentos,” Universidad de Chile, 1986.
- [43] INEC, “INEC publica las cifras de inflación de Enero 2019,” 2019. [Online]. Available: <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/inec-publica-las-cifras-de-inflacion-de-enero-2019/>.
- [44] S. Robbins and M. Coulter, *Administracion*, Decimosegu. Mexico: PEARSON, 2014.

## **Anexo 1**

**Análisis de proteínas, humedad, cenizas, grasas, acidez, azúcares totales y  
solidos realizados en la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad  
Central del Ecuador**



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR  
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS  
OFERTA DE SERVICIOS Y PRODUCTOS

LABORATORIO DE ALIMENTOS  
INFORME DE RESULTADOS

INF. LAB. ALI- 27069  
ORDEN DE TRABAJO No 60679

SOLICITADO POR:	LUCERO ALEJANDRA
DIRECCIÓN DEL CLIENTE:	CUIDADELA IBARRA
MUESTRA DE:	FRUTA DE CAPULI
DESCRIPCIÓN:	FRUTA DE CAPULI
LOTE:	----
FECHA DE ELABORACIÓN:	----
FECHA DE VENCIMIENTO:	----
FECHA DE RECEPCIÓN:	18/02/2019
HORA DE RECEPCIÓN:	10:30
FECHA DE ANÁLISIS:	19-28/02/2019
FECHA DE ENTREGA DE RESULTADOS A LA SECRETARIA:	06/03/2019
CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA	
COLOR:	Característico
OLOR:	Característico
ESTADO:	SOLIDO
Contenido: 250 g	
OBSERVACIONES:	
Los resultados que constan en el presente informe se refieren a la muestra entregada por el cliente al OSP.	
MUESTREADO POR:	El Cliente

INFORME

PARÁMETROS	UNIDAD	RESULTADO	METODO
Proteína (factor 6.25)	%	1.55	MAL-04/ AOAC 981.10
Humedad	%	76.09	MAL-13/ AOAC 925.10
Grasa	%	1.48	MAL-03/ AOAC 991.36
Cenizas	%	0.88	MAL-02/ AOAC 923.03
Carbohidratos	%	20.00	Cálculo
Azúcares Totales	%	8.61	MAL-53/ PEARSON
Acidez (ácido cítrico)	%	0.62	MAL-01/AOAC 947.05
Sólidos Solubles a 20°C	%	19.00	MAL - 51/AOAC 932.14C



  
Dr. Geovany Garófalo  
JEFE AREA DE ALIMENTOS



RAL-4.1-04

Dirección: Francisco Viteri s/n y Gilberto Gatto Sobral - Teléfonos: 2502-262 / 2502-456, ext. 15, 18, 21, 31, 33  
Telefax: 3216-740 - Web: [www.facquimuce.edu.ec](http://www.facquimuce.edu.ec) - E-mail: [laboratoriososp@hotmail.com](mailto:laboratoriososp@hotmail.com)

## **Anexo 2**

### **Fotos de la construcción de la máquina**



Elaboración del tanque interno. Elaborado por: Alejandra Lucero & David Chiliquinga



Limpieza de soldadura. Elaborado por: Alejandra Lucero & David Chiliquinga



Verificación de medidas. Elaborado por: Alejandra Lucero & David Chiliquinga



Acoplamiento de bases. Elaborado por: Alejandra Lucero & David Chiliquinga





Elaborado por: Alejandra Lucero & David Chiliquinga



Acoplamiento de instrumentos de medición. Elaborado por: Alejandra Lucero & David Chiliquinga



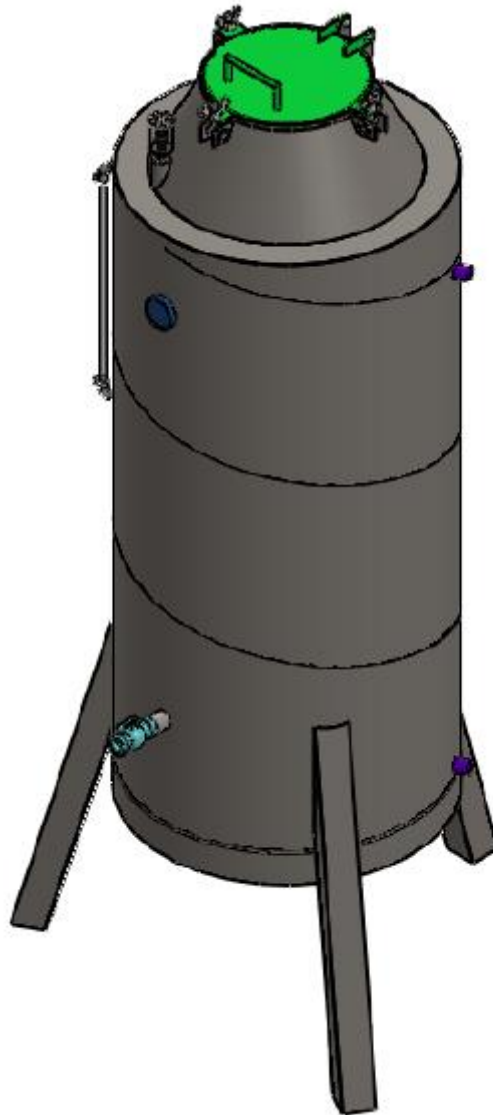
Equipo para fermentar mosto de capulí. Elaborado por: Alejandra Lucero & David Chilingua

### **Anexo 3**

#### **Manual de Funcionamiento**

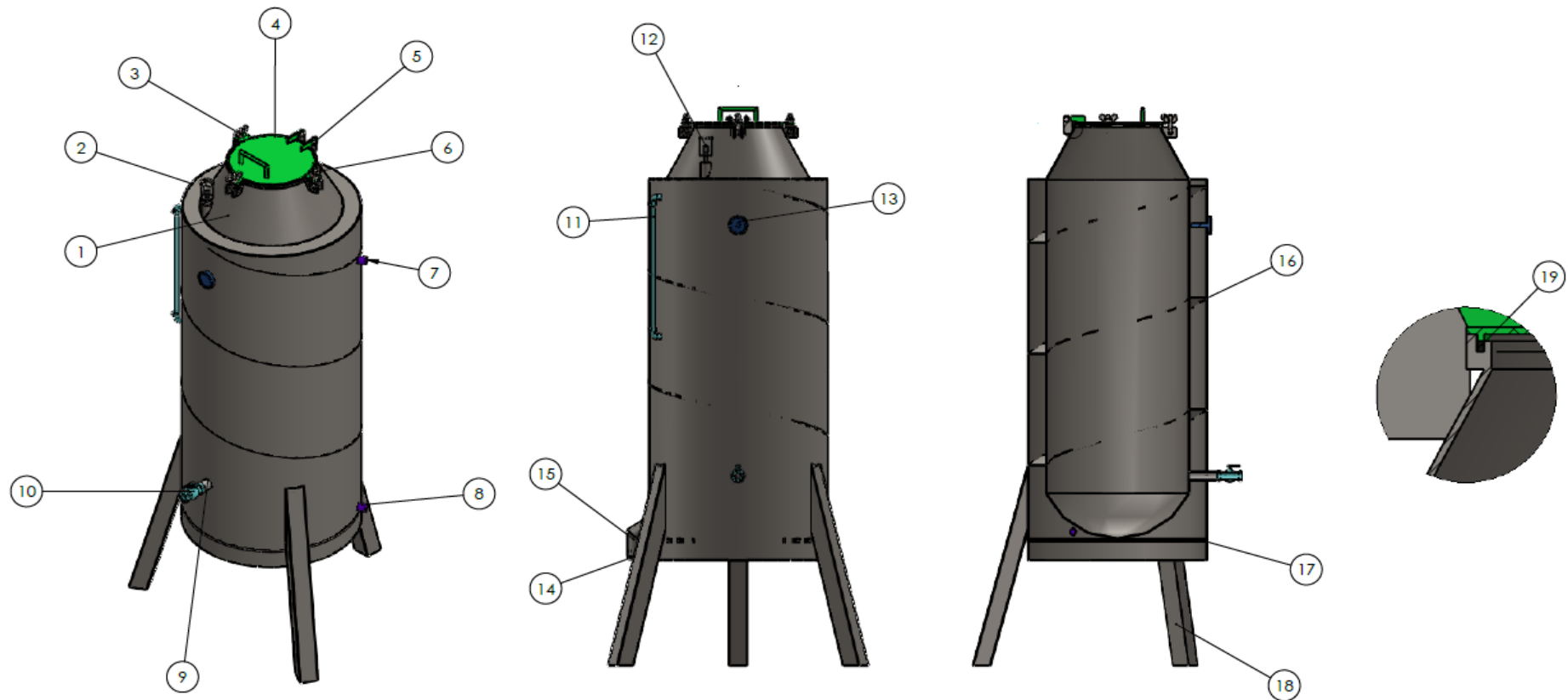
# MANUAL DE FUNCIONAMIENTO

## EQUIPO PARA FERMENTAR MOSTO DE CAPULÍ CON CAPACIDAD DE 150 LITROS



Elaborado por: Alejandra Lucero & David Chilibingua

## ELEMENTOS DEL EQUIPO PARA FERMENTAR MOSTO DE CAPULÍ



Elaborado por: Alejandra Lucero & David Chiliquinga

## LISTADO DE ELEMENTOS DEL FERMENTADOR

19	Empaque sistema hermético
18	Soporte
17	Base
16	Serpentín
15	Tapa salida de residuos
14	Tubería de residuos
13	Termómetro
12	Válvula air-lock
11	Nivel de agua tubular
10	Válvula de globo 3/4"
9	Tubería salida de vino
8	Neplo roscado sal. agua
7	Neplo roscado ent. agua
6	Pernos
5	Pasadores
4	Tapa hermética
3	Tuerca mariposa
2	Tanque exterior
1	Tanque interno
Ref:	Denominación:

Elaborado por: Alejandra Lucero & David Chilibingua

## INSTRUCTIVO PARA EL FUNCIONAMIENTO DEL EQUIPO DE FERMENTACIÓN

1. Verificar que la llave de salida de vino esté completamente cerrada, la tapa de salida de residuos y el tapón de la cámara de agua estén colocados.



2. Colocar agua en el tanque exterior, hasta la medida indicada en el nivel de agua tubular.



3. Poner el mosto de capulí con los azúcares y agua necesarios para la fermentación.
4. Cerrar el tanque interno, sellarlo mediante el sistema hermético y asegurarlo con las tuercas.





5. Colocar agua en la válvula de salida de gases (válvula Air-lock) hasta la medida señalada.



6. Realizar las conexiones del GLP para el funcionamiento del quemador



7. Encender la llama del quemador para calentar la cámara de agua hasta una temperatura de 50 °C, misma que se puede observar en el termómetro.





8. Apagar la llama del quemador para evitar un exceso de temperatura.
9. Verificar el nivel de agua, llenar la cámara de agua en caso de ser necesario.



10. Realizar los pasos 7,8,9 tres veces al día para mantener la temperatura y que de esta manera se produzca la fermentación del mosto por un lapso de una semana.
11. Una vez terminado el proceso de fermentación evacuar el vino por la llave  $\frac{3}{4}$ " para su posterior envase.



12. Finalizado la evacuación del vino, colocar un recipiente adecuado cerca de la tubería de salida de residuos y abrir la tapa para la extracción de estos.



13. Evacuar el agua del tanque exterior.

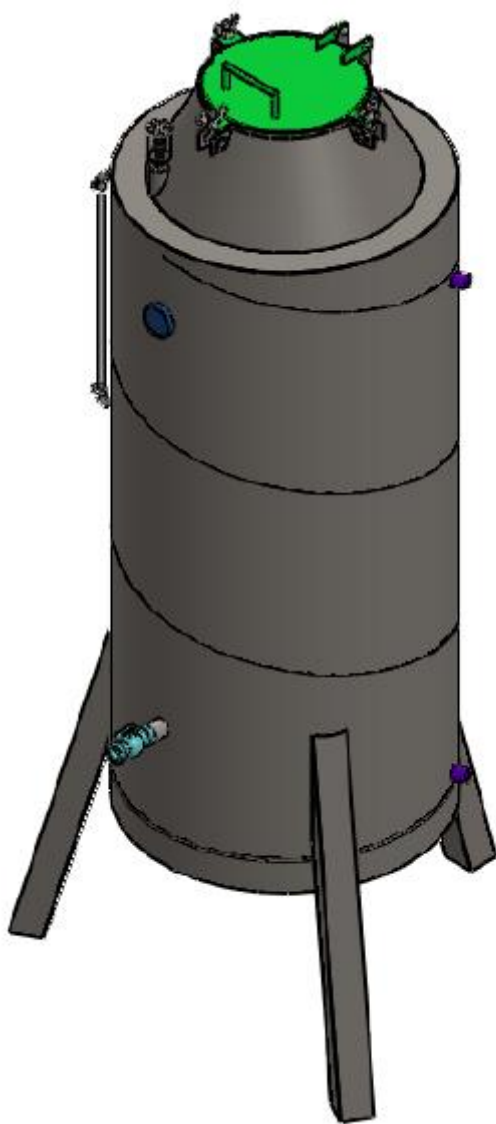


## **Anexo 4**

### **Manual de Mantenimiento**

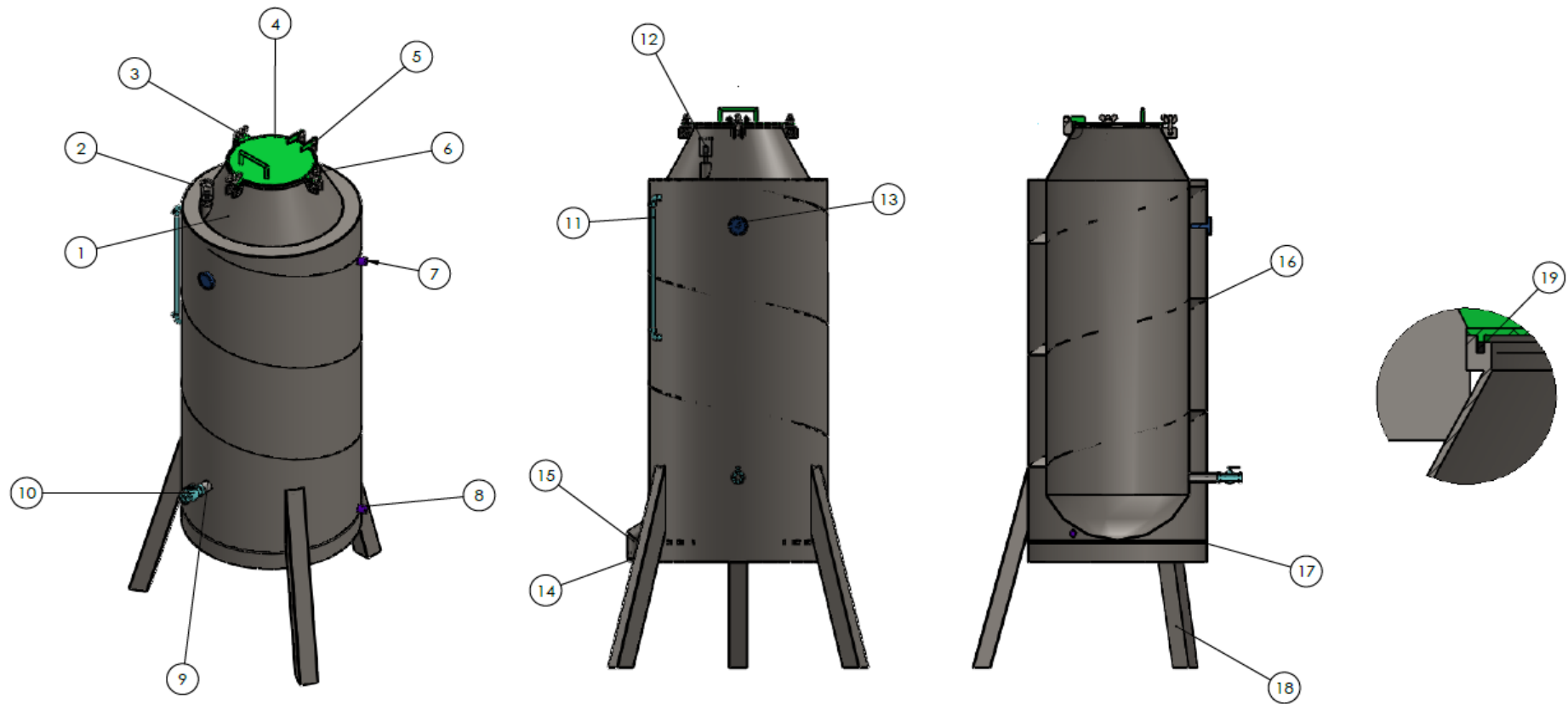
# MANUAL DE MANTENIMIENTO

## EQUIPO PARA FERMENTAR MOSTO DE CAPULÍ CON CAPACIDAD DE 150 LITROS



Elaborado por: Alejandra Lucero & David Chiliquinga

## ELEMENTOS DEL EQUIPO PARA FERMENTAR MOSTO DE CAPULÍ



Elaborado por: Alejandra Lucero & David Chilibingua

## LISTADO DE ELEMENTOS DEL FERMENTADOR

19	Empaque sistema hermético
18	Soporte
17	Base
16	Serpentín
15	Tapa salida de residuos
14	Tubería de residuos
13	Termómetro
12	Válvula air-lock
11	Nivel de agua tubular
10	Válvula de globo 3/4"
9	Tubería salida de vino
8	Neplo roscado sal. agua
7	Neplo roscado ent. agua
6	Pernos
5	Pasadores
4	Tapa hermética
3	Tuerca mariposa
2	Tanque exterior
1	Tanque interno
Ref:	Denominación:

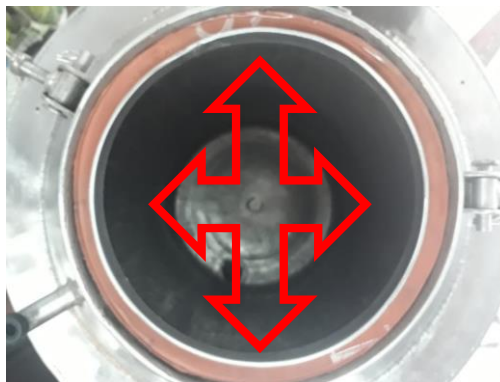
Elaborado por: Alejandra Lucero & David Chilibingua

## MANUAL DE MANTENIMIENTO DESPUÉS DE CADA CICLO DE FERMENTACIÓN

1. Cerrar la llave del tanque de GLP y desconectar la manguera de este.



2. Realizar la limpieza del tanque interior después de cada ciclo de fermentación.



3. Realizar la limpieza de la válvula de salida de gases (válvula air-lock).



4. Evitar el daño de los accesorios como:

- Nivel de agua tubular



- Llave de paso de  $\frac{3}{4}$ "
- Termómetro



- Válvula de salida de gases (válvula air-lock)



- Tapa de 2" para salida de residuos





5. Verificar que el sello de la tapa permanezca en su lugar y en caso de ser necesario reemplazar por una nueva



## **Anexo 5**

### **Planos**